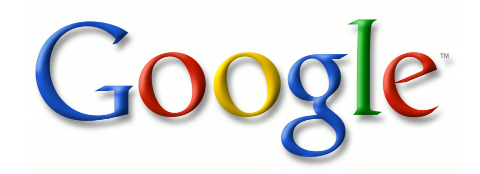
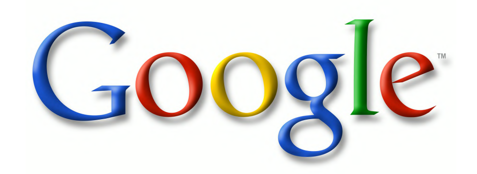
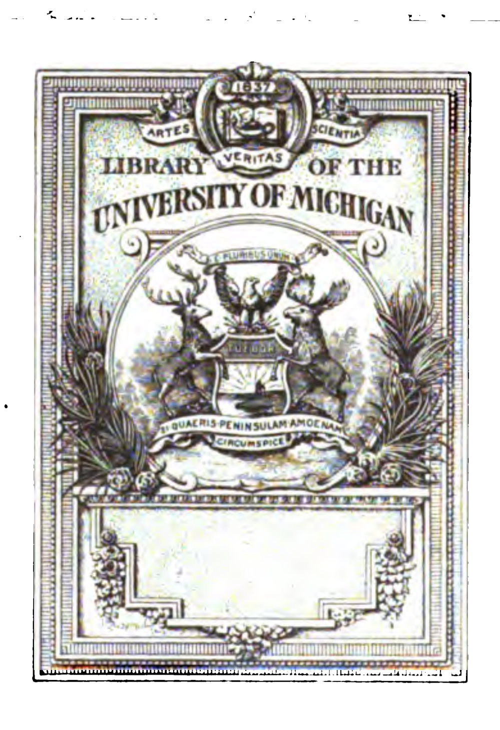
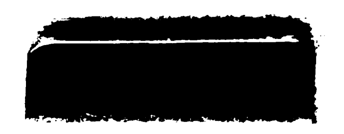



Google






1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe**, Kiel; **Chr. Bohr**, Kopenhagen; **K. Bürker**, Tübingen; **W. Caspari**, Berlin; **J. R. Ewald**, Strassburg; **O. Fischer**, Leipzig; **O. Frank**, München; **M. von Frey**, Würzburg; **S. Garten**, Giessen; **A. Gullstrand**, Upsala; **F. B. Hofmann**, Prag; **R. Magnus**, Utrecht; **L. Michaëlis**, Berlin; **W. Nagel**, Rostock; **C. Oppenheimer**, Berlin; **I. P. Pawlow**, St. Petersburg; **J. Poirot**, Helsingfors; **A. Pütter**, Bonn; **M. Rubner**, Berlin; **K. Schäfer**, Berlin; **F. Schenck**, Marburg; **J. Steiner**, Köln; **W. Trendelenburg**, Innsbruck; **W. Wirth**, Leipzig; **N. Zuntz**, Berlin, und **H. Zwaardemaker**, Utrecht

herausgegeben

von

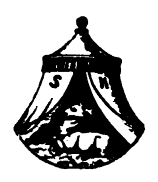
Robert Tigerstedt

Zweiter Band

Zweite Hälfte

Hämodynamik; die körperlichen Elemente des Blutes

Mit 192 Figuren im Text und 3 Tafeln



Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1913

Druck von August Pries in Leipzig.

Inhalt.

4. Abteilung. (Blut und Blutbewegung II.)

Seite

5. Abteilung. (Blut- und Blutbewegung III.)

Handbuch
der
physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern **A. Bethe**, Strassburg; **Chr. Bohr**, Kopenhagen; **K. Bürker**, Tübingen; **W. Caspari**, Berlin; **J. R. Ewald**, Strassburg; **O. Fischer**, Leipzig; **O. Frank**, München; **M. von Frey**, Würzburg; **S. Garten**, Giessen; **A. Gullstrand**, Upsala; **F. B. Hofmann**, Innsbruck; **R. Magnus**, Utrecht; **L. Michaëlis**, Berlin; **W. Nagel**, Rostock; **C. Oppenheimer**, Berlin; **I. P. Pawlow**, St. Petersburg; **J. Poirot**, Helsingfors; **A. Pütter**, Göttingen; **M. Rubner**, Berlin; **K. Schäfer**, Berlin; **F. Schenck**, Marburg; **J. Steiner**, Köln; **W. Trendelenburg**, Freiburg in B.; **W. Wirth**, Leipzig; **N. Zuntz**, Berlin und **H. Zwaardemaker**, Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt in Helsingfors.

Seit Cyon im Jahre 1876 seine „Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen" herausgab, ist keine ausführliche Bearbeitung der physiologischen Arbeitsmethoden erschienen, und dennoch hat die Physiologie während der seitdem verflossenen 30 Jahre nicht allein in bezug auf ihren Inhalt sondern auch hinsichtlich der von ihr benutzten experimentellen Methoden außerordentliche Fortschritte gemacht, indem teils die alten Versuchsweisen vielfach verbessert und erweitert, teils auch ganz neue Methoden dem Dienste des Forschers gestellt worden sind. Da die Beschreibung derselben in der gesamten biologischen Literatur zerstreut ist, bereitet es selbst demjenigen Forscher, der eine sehr reiche Bibliothek zu seiner Verfügung hat, nicht geringe Schwierigkeiten, sie zu finden und in genügendem Grade zu übersehen.

Es liegt also hier unzweifelhaft eine wesentliche Lücke vor, die das vorliegende Handbuch möglichst auszufüllen versucht. Angesichts des sehr großen Umfanges der Aufgabe und da nur derjenige Forscher, der sich durch eigene wissenschaftliche Arbeit mit den zu besprechenden Methoden vertraut gemacht hat, wirklich befähigt ist, sie darzustellen, ist es dringend notwendig gewesen, eine weitgehende Teilung des Arbeitsgebietes durchzuführen.



Nachdem eine große Anzahl der erfahrensten Autoren sich bereit erklärt hatte, die einzelnen Kapitel eines Handbuches der physiologischen Methodik zu bearbeiten, hat sich die unterzeichnete Verlagsbuchhandlung entschlossen, das Werk herauszugeben.

Das Handbuch soll in drei Bänden, zunächst in Abteilungen ausgegeben werden. Die Verteilung des Stoffes ist aus dem nachstehenden Inhaltsverzeichnis ersichtlich. Kleinere Änderungen in der Reihenfolge bleiben vorbehalten.

Bis jetzt sind erschienen:

I. Band, 1. Abteilung; Allgemeine Methodik I. Preis M. 5.—
2. Abteilung; Protisten — Wirbellose Tiere — Physikalische Chemie. Preis M. 7.50.

II. Band, 1. Abteilung; Blut und Blutbewegung I. Preis M. 14.—
2. Abteilung; Atmung — Verdauung. Preis M. 6.—
3. Abteilung; Muskelphysiologie. Preis M. 18.—
4. Abteilung; Blut und Blutbewegung II. Preis M. 14.—

III. Band, 1. Abteilung; Sinnesphysiologie I. Preis M. 4.—
2. Abteilung; Sinnesphysiologie II. Preis M. 8.—
4. Abteilung; Zentrales Nervensystem. Preis M. 8.—

Im Druck befindet sich **I. Band, 3. Abteilung;** (Ernährung.)
I. Band, 4. Abteilung; (Allg. Methodik II.)
III. Band, 5. Abteilung; (Psychophysik.)

Die übrigen Abteilungen werden möglichst schnell nachfolgen.

Leipzig, im Januar 1911.
Königstraße 2.

S. HIRZEL
Verlagsbuchhandlung.

Inhaltsverzeichnis

Erster Band

Zweiter Band

Erste Abteilung (Blut und Blutbewegung I).

1. Die Gasarten des Blutes . . . . Chr. Bohr
2. Die Methodik der Antikörper-Forschung für physiologische Zwecke . . . . L. Michaëlis
3. Gewinnung, qualitative und quantitative Bestimmung des Hämoglobins. . . . . K. Bürker

Zweite Abteilung (Atmung, Verdauung).

1. Atembewegungen . . . . F. Schenck
2. Methodologie der Enzymforschungen . . C. Oppenheimer
3. Die Bewegungen des Verdauungsrohres R. Magnus
4. Die operative Methodik des Studiums der Verdauungsdrüsen . . . . I. P. Pawlow

Dritte Abteilung (Muskelphysiologie).

1. Thermodynamik des Muskels . . . . . K. Bürker
2. Allgemeine Muskelmechanik . . . . . M. von Frey
3. Spezielle Bewegungslehre . . . . . . O. Fischer
4. Elektrophysiologie . . . . S. Garten

Vierte Abteilung (Blut und Blutbewegung II).

Hämodynamik. . . . . O. Frank.

Fünfte Abteilung (Blut und Blutbewegung III).

Zählung der körperlichen Elemente des Blutes. . . . . K. Bürker.

Dritter Band

Erste Abteilung (Sinnesphysiologie I).

1. Die sensorischen Funktionen der Haut M. von Frey
2. Geruch und Geschmack . . . . H. Zwaardemaker

Zweite Abteilung (Sinnesphysiologie II).

1. Helligkeit und Farben . . . . W. Nagel
2. Die Augenbewegungen usw. . . . . . . F. B. Hofmann

Dritte Abteilung (Sinnesphysiologie III).

1. Die Dioptrik des Auges . . . . A. Gullstrand
2. Die physiologische Akustik . . . . . K. Schäfer
3. Die nicht akustischen Funktionen des inneren Ohres . . . . J. R. Ewald

Vierte Abteilung (Zentrales Nervensystem).

1. Das zentrale Nervensystem der warmblütigen Tiere . . . . W. Trendelenburg
2. Das zentrale Nervensystem der kaltblütigen Wirbeltiere . . . . J. Steiner

Fünfte Abteilung (Psychophysik. Sprachlaute).

1. Psychophysik . . . . W. Wirth
2. Phonetik . . . . J. Poirot

Druck von August Pries in Leipzig.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Strassburg; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** München; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Giessen; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Innsbruck; **R. Magnus,** Utrecht; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Rostock; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Göttingen; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenck,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Freiburg i. B.; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt

Zweiter Band

4. Abteilung

Blut und Blutbewegung II

Mit 117 Figuren

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1911

Inhaltsverzeichnis.

Dieses Blatt ist beim Einbinden des vollständigen Bandes zu entfernen.

4. Abteilung:

Blut und Blutbewegung II

Hämodynamik

von

O. Frank in München.

I. Die hämodynamischen Meß- und Registrierinstrumente.

(Mit 36 Figuren.)

Kapitel 1.

Einleitung.

Wenn es auch überflüssig erscheinen möchte, in einem Handbuch, das ganz der Ausbildung der Methodik und der literarischen Übermittlung der wichtigsten technischen Hilfsmittel gewidmet ist, über die Bedeutung der Methodik zu sprechen, so ist es doch vielleicht für den von mir bearbeiteten Teil besonders gerechtfertigt. Dünkt doch vielen die Mühe, die in dem Gebiet des Kreislaufs auf die Ausbildung einer strengeren Methodik, durch welche die Feinheiten im Ablauf der hämodynamischen Erscheinungen erkannt werden könnten, als überflüssig, ja als verschwendet. Die geringe Achtung vor diesen Bestrebungen ist wohl historisch begründet. Es ist gewiß viel auf unserem Gebiet gesündigt worden. Zahlreiche Apparate sind konstruiert worden, ohne daß man sich über die Prinzipien klar geworden wäre, ohne daß man gerade dasjenige bei ihrer Konstruktion beachtet hätte, was für ihre Leistung am bedeutsamsten ist. Daher darf man sagen, daß viel unnütze Mühe aufgewendet worden ist, so daß ganze Teile der Literatur über die feineren Veränderungen in dem Kreislaufsystem wertlos sind. Aber man wird gewiß am besten aus diesen Gängen der Entwicklung nur die Konsequenzen für eine vernünftige Behandlung dieser Fragen ziehen. Denn ohne Hebel und Schrauben kann man eben doch nicht in die Geheimnisse der Natur eindringen. Um an einem Beispiel zu zeigen, was eine Ausbildung der Methodik bedeuten kann, verweise ich auf die Theorie der optischen Instrumente. Ich habe früher schon bemerkt, daß die Leistungen der hämodynamischen Instrumente, insbesondere der Manometer, verglichen werden können mit dem Auflösungsvermögen der optischen Instrumente. Was hier das Auflösungsvermögen bedeutet, ist dort das Vermögen, die kürzesten Teilschwingungen eines Kurvenzugs zur Darstellung zu bringen. Gewiß wird das Beugungsbild, das ein schlechtes Teleskop, d. h. ein solches von geringem Auflösungsvermögen, von einem Stern entwirft, verschieden

sein von demjenigen, das von einem Sternpaar derselben Helligkeit entworfen wird; aber die Differenz wird nur unendlich klein und nicht zu beobachten sein. Ein gutes Teleskop wird die beiden Sterne getrennt erkennen und eventuell die Veränderungen ihrer Entfernung. Eine derartige Beobachtung kann für die Wissenschaft von dem größten Interesse sein und eventuell den Schlüssel bieten zur Eröffnung eines ganz neuen Wissenschaftgebietes. Ich brauche hier nur auf bekannte Beispiele in der neueren Geschichte der Naturwissenschaften hinzuweisen, so auf die genauere Feststellung des spezifischen Gewichtes des Stickstoffs und die dadurch bedingte Entdeckung neuerer Elemente durch Ramsay oder auf die Methoden zur besseren Evakuierung von Röhren und die sich daran anschließende Entdeckung der Röntgenstrahlen.

So haben wohl auch diejenigen Forscher, die das Wesen der Dikrotie aufzuklären versuchten, die Überzeugung gehabt, daß, um das Wesen der Herzbewegung festzustellen, auch eine Analyse des an sich unbedeutend erscheinenden Vorgangs nötig ist. Sie dürften darin im wesentlichen recht behalten, wenn auch viele, den Modeströmungen der Wissenschaft folgend, eine derartige Forschungsweise als Beckmesserei ansehen wollen. Man wird sich hierbei an Worte von W. Thomson (Lord Kelvin) erinnern, die er im Anschluß an eine Bemerkung von Herschel in seinem Treatise on natural philosophy, S. 308, 1867, ausgesprochen hat: „It is here — nämlich in der Verfolgung unbedeutender „residual phenomena“ —, that in the present state of science we may most reasonably look for extensions of our knowledge, at all events we are warranted by the recent history of natural philosophy in so doing“.

Daß eine Veränderung der Vorgänge auch immer von einer schlechten Methode angezeigt wird, ist natürlich unrichtig, ebensowenig wie eine Veränderung in der Entfernung naher Sterne von einem schlechten Teleskop erkannt würde. Selbstverständlich muß jedoch die Ausbildung einer Methode nicht Selbstzweck bilden, sondern die Methode muß wirklich der Forschung dienstbar gemacht werden. Ob das aber sogleich oder in einem späteren Zeitmoment geschieht, ist für die Beurteilung des Wertes der Methode gleichgültig. —

Die Prinzipien der graphischen Registrierung sind in dem ersten Band, vierte Abteilung dieses Handbuches (zitiert als Bd. I, 4) entwickelt. An sie schließt sich meine Darstellung der hämodynamischen Methodik folgerichtig an. Ich wiederhole aber hier die für die Hämodynamik wichtigsten Punkte:

1. Aus den Entwicklungen der „Prinzipien“ hebe ich hervor und verweise besonders auf die Abschnitte H, I und K, daß zur Feststellung der Leistungen eines Instrumentes vor allen Dingen notwendig ist: die Kenntnis der Dauer seiner Eigenschwingungen und seiner Empfindlichkeit.

2. Zu dem Kapitel: „Kymographien“ ist zu bemerken, daß im allgemeinen größere Geschwindigkeiten als 10 cm für die Registrierung der hämodynamischen Erscheinungen nicht erforderlich sind, und auch diese nur in besonderen Fällen. Besonders bei langsamer Bewegung der Registrierfläche und langdauernden Versuchen dürfte sich die Heringsche Anordnung empfehlen.

Mit ein paar Worten will ich die für photographische Registrierung zweckmäßige Anordnung beschreiben.

(Die photographische Methodik im allgemeinen ist in Bd. I, 1. Abteilung von Garten behandelt.)

Selbstverständlich kann man auch mit einfacheren Apparaten arbeiten. Es genügt zur photographischen Aufzeichnung eine lichtempfindliche Fläche, die sich mit konstanter Geschwindigkeit hinter einem Spalt bewegt, also etwa eine Platte, die in einem Schlitten geführt wird, oder eine Trommel, auf der lichtempfindliches Papier oder ein empfindlicher Film aufgespannt werden kann. Wer aber länger mit solchen Registrierungen zu tun hatte, wird bald das Bedürfnis nach vollkommneren Einrichtungen empfinden. Vor allem erscheint mir für die Registrierung der Vorgänge des Kreislaufs, die meistens mit schwierigeren Operationen oder Manipulationen verknüpft ist, notwendig, daß die lichtempfindliche Platte oder der Film leicht im Tageslicht eingesetzt werden und gewechselt werden kann. Ferner muß das Instrument für mehrere hintereinander erfolgende Aufnahmen bereit sein.

Diese Bedingungen werden erfüllt:

a. Von dem von mir 1908 beschriebenen Apparat. (S. Bd. I 1. Abteilung S. 107.) Die Geschwindigkeit der Trommel kann bis 1 m und darüber gesteigert werden.

b. Von den Vorrichtungen, die eine Registrierung auf endlosem Film gestatten, d. h. bei denen die jeweilige Aufnahme nicht auf eine bestimmte Filmlänge beschränkt ist, sondern nach Belieben auf ein größeres Stück Film ausgedehnt werden kann. Ich habe früher (Ztschr. f. Biol. Bd. 52) einen solchen Apparat angegeben, den ich inzwischen noch wesentlich verbessert habe. Aber mir scheint trotz dieser und ähnlicher Verbesserungen der unter a angegebene Apparat besonders für raschere Bewegungen den Vorzug zu verdienen. Man wird sich immer so einrichten können, daß der wesentliche Vorgang, den man verzeichnen will, innerhalb des Ablaufs eines Filmstücks von 40 cm fällt. Die Registrierung mit fortlaufendem Papier führt zu starken Verschwendungen von Film, da man doch mit dem Auge die Bewegungsvorgänge nicht sicher verfolgen kann und so leicht dazu verleitet wird, für das Experiment unwesentliche Änderungen der Bewegungsvorgänge aufzunehmen.

3. Zur „Markierung der Zeitintervalle“ kommen im allgemeinen Stimmgabelschwingungen wegen der vergleichsweise langsamen Bewegung nicht in Betracht.

4. Sehr wichtig sind die Erörterungen über die Dynamik der „Hebel- und Spiegelapparate“. Ich entnehme aus ihnen vor allem die Weisung, daß die Hebel möglichst kurz sein sollen und daß, wenn die geringen Trägheitsmomente der kleinsten Spiegel wirklich ausgenutzt werden sollen, ein Gestell in dem dort angegebenen Sinn nicht verwendet werden darf. —

Ich habe geglaubt, durch eine vollständige Darstellung der Theorie der Instrumente, die im wesentlichen in dem Teil I der hämodynamischen Methodik enthalten ist, einigen Lesern, die den mathematischen Auseinandersetzungen zu folgen die Lust haben, nützlich zu sein. Nach meiner Meinung ist die Theorie der Instrumente jetzt abgeschlossen und für die Beurteilung ihrer Leistungen vollständig zureichend entwickelt, ja in den meisten Teilen geht ihre Genauigkeit über das eigentliche Bedürfnis hinaus. Über die etwaigen Abweichungen der experimentellen Prüfung von den

theoretisch entwickelten Beziehungen ist in meinen Abhandlungen das Nötige gesagt. Sie sind zwar vom physikalischen Standpunkt sehr interessant, spielen aber keine Rolle für die Benutzung der theoretischen Ergebnisse zur Beurteilung der Leistungen der Instrumente. Die Ermittelung der physikalischen Beziehungen, die diese Abweichungen erklären würden, erfordert jedenfalls einen unverhältnismäßig großen Apparat von strenger experimenteller Methodik. Kaum würde man dadurch zu einer befriedigenden Aufklärung des Zusammenhangs gelangen, gerade so wenig wie in den analogen Gebieten der Mechanik, wo man sich in solchen Fällen auch nur durch Einführung von Korrekturkonstanten in die Gleichungen helfen kann. Für den Zweck, den die Entwicklung einer Theorie der Instrumente zu verfolgen hat, würde dieses Vorgehen nur Zeitverschwendung darstellen. Ich bin überzeugt, daß jeder, welcher die Theorie richtig anwendet und dies ist jetzt spielend leicht, denselben Nutzen hat, den ich fortwährend aus ihr ziehe.

In den hauptsächlichsten theoretischen Kapiteln gebe ich jedesmal Winke für die praktische Ausnutzung der Theorie. Man kann ihnen folgen, ohne daß das Verständnis für die theoretischen Entwicklungen notwendig ist. (Praktisch wichtige Abschnitte sind: Kap. 2H, 3F, 4E, 5B, 6, 7B, 8B–E, 9D–H, 10–12, 13B.C, 14F, 15, 16C, 17–22.)
Der Anhang enthält eine Tabelle der mathematischen Bezeichnungen.

Auf der anderen Seite knüpfe ich an die speziellen Beschreibungen der Apparate in dem Teil II eine kritische Diskussion ihrer Leistungen an, und hoffe auch hierfür keine vollständige Ablehnung zu erfahren. Zugleich bin ich bestrebt gewesen, alle in der Literatur beschriebenen technischen Änderungen und Verbesserungen der Apparate zu berücksichtigen. Teilweise habe ich mich durch unmittelbare schriftliche Anfragen bei den Autoren über nicht veröffentlichte technische Kunstgriffe zu unterrichten gesucht.

Im Teil III behandle ich die wichtigsten vivisektorischen Operationen, die für die Erforschung des Kreislaufs angegeben worden sind.

Bei der Sammlung der Literaturangaben haben mir wesentliche Dienste geleistet die Werke:

Cyon Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen. Mit Atlas. 1876.
Gscheidlen Physiologische Methodik. Braunschweig 1876.
Marey, La circulation du sang, 1881.
v. Frey, Die Untersuchung des Pulses. Berlin 1892.
R. Tigerstedt, Lehrb. d. Physiologie des Kreislaufs. Leipzig 1893.
Langendorff, Physiologische Graphik, 1891.
Marey, La méthode graphique. Paris 1885.
Schäfers Textbook of Physiology. Kreislauf bearbeitet von Hill.
R. Tigerstedt, Referate in den „Ergebnissen der Physiologie" 1902, 1905, 1909.

Meine Abhandlungen:
Kritik der elastischen Manometer. Zeitschr. f. Biol. 45, S. 445,
Theorie des Kolbenmanometers. Zeitschr. f. Biol. 45, S. 465,
Der Puls in den Arterien. Zeitschr. f. Biol 46, S. 441,
(Mit J. Petter) Statik der Membranmanometer und der Lufttransmission. Zeitschr. f. Biol. 48, S. 498,
Prinzipien der graphischen Registrierung. Zeitschr. f. Biol. 53, S. 429, 1910.
Dynamik der Membranmanometer und der Lufttransmission. Zeitschr. f. Biol. 50, S. 309.
zitiere ich abgekürzt unter „Kritik", „Kolbenmanometer", „Arterienpuls", „Statik" und „Dynamik", „Prinzipien".

Kapitel 2.

Theorie der Flüssigkeitssysteme.

(Manometer, Lufttransmission usw.)

A. Die wirksame Masse M′ und der Volum-Elastizitätskoeffizient E′ von Flüssigkeitssystemen.

Bei einer großen Anzahl von Registriersystemen wird zur Übertragung der Bewegung oder der Kraftänderung inkompressible Flüssigkeit oder Luft, die sich in Röhrensystemen befinden, verwendet. Dies ist der Fall bei allen Manometern und bei der Lufttransmission. Für die spezielle Dynamik dieser Systeme, d. h. für die Analyse, die eine Ableitung der allgemeinen wesentlichen Konstanten, besonders der Schwingungsdauer, erstrebt, hat sich eine Behandlungsweise außerordentlich bewährt, deren Grundlage in der „Kritik der Manometer" geschaffen worden ist. Sie schließt sich logisch an die Prinzipien der graphischen Registrierung an.

Man geht am besten von einem einfachen System aus, das bei allen komplizierteren wiederkehrt. Die Flüssigkeit, die zunächst als inkompressibel angenommen wird, ist in einer geraden zylindrischen Röhre enthalten. An dem einen Ende der Röhre wirkt ein variabler hydrostatischer Druck ein, dem an der anderen Seite durch die Spannung einer elastischen Membran oder den Druck eines in einem Zylinder gleitenden durch eine elastische Feder bewegten Kolbens das Gleichgewicht gehalten wird.

Die dynamische Grundbeziehung lautet:
Die einwirkende Kraft ist gleich der durch die Deformation erzeugten elastischen Kraft plus der Trägheitskraft plus der dämpfenden Kraft.

Wie in der „Kritik der Manometer" S. 470 ff. gezeigt worden ist, kann man die Bewegungsgleichung dieses Systems in zweckmäßiger Weise umgestalten. Diese Umgestaltung hat sich für die Behandlung aller Manometersysteme und der Lufttransmission als äußerst vorteilhaft erwiesen.

Die ursprüngliche Gleichung hat die folgende leicht übersehbare Gestalt: (Gleichung 3. S. 467 der Kritik.)

$$P = Ex + M\frac{d^2x}{dt^2} + K\frac{dx}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Die Umgestaltung der Gleichung geschieht dadurch, daß man einmal statt der Kraft P den hydrostatischen Druck p, ferner statt der linearen Verschiebungen die Veränderungen des durch einen gewissen Querschnitt hindurchtretenden Volumens V einführt. Man erreicht dies dadurch, daß man, wie auf Seite 470 dieser Abhandlung angegeben ist, mit dem Querschnitt der Röhre dividiert. Dann erhält man folgende Gleichung:

$$p = V\cdot\frac{\Delta p}{\Delta V} + \frac{\sigma L}{Q}\cdot\frac{d^2V}{dt^2} + \frac{K}{Q^2}\frac{dV}{dt} \quad \ldots\ldots (2)$$

(σ = spezifisches Gewicht) (Gleichung 7 der Kritik). Ich bemerke hier, daß man diese Gleichung auch aus den Eulerschen hydrodynamischen Gleichungen unmittelbar ableiten kann. Für unsere weiteren Entwicklungen hat diese

Ableitung keinen Vorteil. Im Gegenteil wahrt die soeben gegebene Ableitung den Zusammenhang mit den allgemeinen die Registrierinstrumente charakterisierenden Gleichungen (s. Bd. I, 4). Die Gleichung gilt zunächst für ein System, bei dem die inkompressible Flüssigkeit in einer starren und gleich weiten Röhre enthalten ist. Bei diesem System ist an allen Querschnitten das durch sie hindurchtretende Volumen V gleich. Wir werden es zu ermöglichen suchen, daß die Gleichung auch für Systeme anzuwenden ist, bei dem die Querschnitte des Röhrensystems nicht gleich sind, ferner für solche, in denen elastische Faktoren entweder in der Elastizität der Wand oder in einer eingeschalteten Luftsäule vorhanden sind. Deshalb will ich schon jetzt die Variable V genauer definieren. Es ist diejenige Volumverschiebung, die durch den Endquerschnitt stattfindet. Dies ist derjenige Ort des Systems, an dem die eigentliche Aufzeichnungsvorrichtung angebracht ist. Bei dem Membranmanometer oder der Mareyschen Kapsel ist es die Stelle der Membran. Mit ihr ist die Hebel- oder Spiegelvorrichtung starr verbunden, ebenso verhält es sich mit der Kolbenübersetzung. Bei dem Quecksilbermanometer ist es das Ende der Quecksilbersäule, an dem der Schwimmer aufsitzt. In manchen Fällen werden die Exkursionen Ve des Systems an diesem Membranquerschnitt durch Lufttransmission weiter übertragen, wie bei dem Chauveau-Mareyschen manomètre elastique à membrane de cautchouc oder bei einem Quecksilbermanometer, dessen Exkursionen durch Lufttransmission aufgeschrieben werden. Hier könnte es für die theoretische Behandlung vielleicht vorteilhafter sein, als Endquerschnitt nicht den Querschnitt der Registrierkapsel, sondern denjenigen des eigentlichen Manometers zu definieren.

Den Ausdruck $\frac{s \cdot L}{Q}$ bezeichne ich als wirksame Masse. Er bestimmt die Trägheitskräfte des Systems und ist ein aus den Massen der einzelnen Systemteile in ähnlicher Weise abgeleiteter Ausdruck wie das Trägheitsmoment eines rotierenden Systems. Seine Aufstellung erleichtert die Übersicht über die Bestimmung der Trägheitskräfte der Flüssigkeitsmasse, ebenso wie das Trägheitsmoment die Analyse der Bewegungen eines sich drehenden Körpers erleichtert. Die Elastizitätskonstante, die den Quotienten aus dem Zuwachs des hydrostatischen Drucks, der durch eine bestimmte Flüssigkeitsverschiebung eintritt, und dieser Flüssigkeitsverschiebung darstellt, die Größe $\Delta p / \Delta V$, bezeichne ich mit E', den Koeffizienten K/Q^2 mit K'.

Die Gleichung wird dadurch:

$$p = E' . V + M' \frac{d^2V}{dt^2} + K' \frac{dV}{dt} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Die Dimensionen der Größen dieser Gleichung sind folgende:

$V = l^3$, $p = m\, l^{-1} t^{-2}$, $M' = m\, l^{-4}$, $E' = m\, l^{-4} t^{-2}$, $K' = m\, l^{-4} t^{-1}$

B. Die Konstanten der Volumübersetzung E', γ, U und η.

Die Analyse der Flüssigkeitssysteme wird sehr erleichtert, wenn man die Konstanten, die an der Stelle der Volumübersetzungen maßgebend sind,

streng definiert und in ihrer Bedeutung untersucht. Unter Volumübersetzung verstehe ich, wie in den „Principien" Bd. I, 4 auseinander gesetzt worden ist, die Umwandlung der Volumverrückung einer Flüssigkeit (auch der Luft) in eine lineare Bewegung. Derartige Volumübersetzungen sind bei rationell gebauten Instrumenten höchstens zweimal, in den allermeisten Fällen nur einmal vorhanden. Das erstere nur bei der linearen Lufttransmission. Hierbei findet zunächst an dem Anfangsquerschnitt eine Umwandlung einer linearen Bewegung in die Volumbewegung einer Flüssigkeit statt. An dem Endquerschnitt wird die Volumverrückung wieder in eine lineare des Schreibhebels oder des Lichtstrahls verwandelt. Bei allen übrigen Instrumenten ist nur eine Volumübersetzung an dem Endquerschnitt vorhanden.

Derartige Volumübersetzungen können entweder durch Membranen, wie bei der Manometerkapsel oder der Mareyschen Kapsel, oder durch einen Kolben, der in einem Zylinder gleitet, bewirkt werden. Die erste bezeichne ich als Membranübersetzung, die letztere als Kolbenübersetzung. Bei der Membranübersetzung werden stets elastische Kräfte ausgelöst, während bei der Kolbenübersetzung eine elastische Kraft nur in besonderen Fällen in Form einer Federkraft wirksam sein kann. Als Kapsel bezeichne ich speziell den Teil des Systems, welcher der Volumübersetzung dient, und unterscheide eine Membran- und eine Kolbenkapsel. Von diesem sehr wenig tiefen Raum ist für manche Zwecke zu trennen der eigentliche Trommelraum, der den Übergang von den Röhrenverbindungan zum Kapselraum bildet. Die Scheidung in diese Abteilungen ist eigentlich nur von Bedeutung für die Berechnung der Luftschwingungen in einem System für Lufttransmission. (S. unten Kap. 14.)

Die Ermittelung der Konstanten der Volumübersetzung: E', γ, U und η aus anderen leicht zu bestimmenden Größen der Kapsel wird in den Kapiteln 3 und 15 (Membransysteme und Kolbenmanometer) gegeben werden. Hier handelt es sich darum, die allgemeinen Beziehungen zwischen diesen Konstanten aufzustellen. Die Definition für den Volum-Elastizitätskoeffizienten E' ist schon oben gegeben worden. Mit γ bezeichne ich die Druckempfindlichkeit der Kapsel, d. h. den Ausschlag der Kapsel für die Einheit des Druckzuwachses. Mit U die Größe der Volumübersetzung, d. h. die Volumverrückung dividiert durch den Ausschlag. η ist der lineare Elastizitätskoeffizient der Kapsel. Es ist diejenige Kraft P, die erforderlich ist, um den Endpunkt des Systems um einen gewissen Betrag zu verschieben, dividiert durch diesen Betrag. Dieser Elastizitätskoeffizient steht nur bei der Kolbenübersetzung in einfacher Beziehung zu den übrigen Konstanten, während er bei der Membranübersetzung in verwickelter Weise von den Dimensionen der Kapsel und der Spannung der Membran abhängt. Die Deformation der Membran, welche durch η charakterisiert wird, ist dann eine andere als diejenige, welche durch E' bestimmt wird. Diese besonderen Verhältnisse werden, wie erwähnt, in Kapitel 3 und 15 behandelt.

Die Beziehungen zwischen diesen Konstanten sind sehr einfache. Ganz allgemein gilt nämlich:

$$U \cdot \gamma = \frac{1}{E'}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

wie man sich leicht ableiten kann.

Ferner wird die weitere Behandlung wesentlich übersichtlicher und eleganter, wenn man den Quotienten $\frac{U^2E'}{\eta}$ einführt. Ich bezeichne ihn allgemein mit Φ. Für die Kolbenkapsel wird er zu 1, bei der einfachen Membranübersetzung erhält er einen Wert, der in den Formeln immer wiederkehrt. Ich nenne ihn in diesem Fall φ.

C. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in ungleich weiten Röhren.

Die wirksame Masse einer Flüssigkeit, deren Querschnitt nicht überall derselbe ist, läßt sich auf Grund von allgemeinen Betrachtungen, die S. 482 ff. der Kritik niedergelegt sind, bestimmen. Diese allgemeinen Betrachtungen basieren auf dem d'Alembertschen Prinzip (s. Bd. I, 4). Sie haben zur Voraussetzung, daß alle einzelnen Flüssigkeitsteilchen sich gleichsinnig bewegen und daß das Verhältnis ihrer Verrückung sich bestimmen läßt. In unserem Fall ist es wegen der Inkompressibilität der Flüssigkeit umgekehrt proportional der Größe des Querschnitts.

Der Ausdruck für die wirksame Masse wird dann gleich:

$$M' = \sigma \cdot \Sigma\left(\frac{L}{Q}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

(S. 487 der Kritik.)
d. h. man erhält die wirksame Masse für ein derartiges Röhrensystem dadurch, daß man den Ausdruck L/Q für die einzelnen verschieden weiten Abschnitte der Röhre berechnet und diese Größen summiert.

Bei dieser Behandlung wird selbstverständlich von Flüssigkeitswirbeln abgesehen, ebenso wie bei der Berechnung der Eigenschwingungen der Luft in einer Orgelpfeife. Bei ihnen treten an der Mündung der Pfeifen Wirbel auf, deren Einfluß nicht streng zu berechnen, sondern nur einzuschätzen ist. Dasselbe gilt für die Übergänge von den engeren zu den weiteren Röhrenteilen. Trotzdem ermöglicht der Ausdruck eine genauere Auswertung der Massenwirkung, als dies für unsere praktische Zwecke verfolgende Analyse notwendig ist.

Wenn die Änderung des Querschnittes stetig ist, so wird die Summe $\Sigma\left(\frac{L}{Q}\right)$ zu dem Integral $\int\frac{dl}{Q}$, das sich integrieren läßt, wenn Q als Funktion der Länge l bekannt ist. In der „Kritik" ist dieses Integral für einen halbkugeligen Übergang von einem Querschnitt zu einem anderen berechnet. Es ist gleich:

$$\frac{1}{2r\pi}\left[\ln\left(\frac{r+h}{r-h}\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

worin h die Höhe der Kugelzone ist (Gleichung 11 der Kritik). Ferner ist das Integral für einen konischen Querschnitt berechnet:

$$M' = \frac{h}{r\varrho\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

worin h die Höhe und r, ϱ die Radien des abgestumpften Kegels sind. (Korrigierte Gleichung 12 der Kritik.)

D. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in elastischen Röhren. Schlauchverbindungen.

Die Summierung der Massenwirkung bei Röhrensystemen von wechselnden Querschnitten wird dadurch ermöglicht, daß man die Verschiebung der einzelnen Flüssigkeitsteilchen in diesen Querschnitten in Beziehung bringt zu der Verschiebung der Flüssigkeitsteilchen in dem Membranquerschnitt. Wenn nun die Verbindung zwischen zwei starren Röhrenteilen des Systems durch ein elastisches Rohr bewirkt wird, so ist die Verschiebung in den von dem Membranquerschnitt entfernter liegenden Querschnitten eine größere als in den ihr näher befindlichen. Die wirksame Masse der Flüssigkeit, die sich in einer elastischen Röhre befindet, wird vergrößert. Um so mehr vergrößert, je größer die Dehnbarkeit des Schlauches ist (Prinzip s. Bd. I, 4). Bezeichnet man mit Ψ den Elastizitätskoeffizienten der Röhre, d. h. den Quotienten aus der Drucksteigerung Δp und der Änderung des Querschnitts ΔQ oder mit ψ den Volum-Elastizitätskoeffizienten der elastischen Röhre $\Delta p/\Delta V = \Psi/L$, welche durch diese Drucksteigerung hervorgerufen wird, so wird die wirksame Masse der Flüssigkeit in einer elastischen Röhre von der Länge L dann, wenn E′ der Elastizitätskoeffizient der Membran ist, zu:

$$M' = \frac{\sigma}{Q}\left(L + \frac{E' L^2}{2\Psi}\right) = \frac{\sigma}{Q}\left(L + \frac{E' L}{2\psi}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

(Gleichung 17 S. 524 der Kritik.)

Diese Gleichung gilt nur dann, wenn zwischen dem Membranquerschnitt und der elastischen Röhre kein elastischer Faktor eingeschaltet ist. Eine ganz ähnliche Gleichung gilt für die wirksame Masse der Luft, bei dem Lufttransmissionsverfahren, oder auch bei dem Lufttonographen (S. 539 der Kritik). Sie wird bei der Besprechung des Luftransmissionsverfahrens näher diskutiert werden.

Befindet sich von dem Membranquerschnitt aus gerechnet jenseit des Schlauchs noch eine Flüssigkeit in einem starren Röhrenteil des Systems, so wird deren wirksame Masse durch die Zwischenschaltung des Schlauchs entsprechend der Vergrößerung der Verrückung der einzelnen Flüssigkeitsteilchen vermehrt. Es muß nach S. 526 der Kritik die nach der einfachen Formel berechnete mit diesem Faktor multipliziert werden und für die wirksame Masse des Teiles 1, (des nach der Verkopplungsstelle zu gelegenen Teils) wird der Ausdruck erhalten:

$$M' = \sigma\left(1 + \frac{E' L_2}{\Psi}\right)\Sigma\left(\frac{L_1}{Q}\right) = \sigma\left(1 + \frac{E'}{\psi}\right)\Sigma\left(\frac{L_1}{Q}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

(Gleichung 20 S. 526 der Kritik.)

Aus dieser Gleichung entnimmt man die Vermehrung, welche die wirksame Masse einer in einem festen Röhrenabschnitt befindlichen Flüssigkeit durch die Einfügung einer zwischen ihr und dem Membranquerschnitt eingeschalteten elastischen Verbindung erfährt. Für noch außerdem eingeschaltete elastische Verbindungen läßt sich dann leicht die Veränderung von M′ nach diesem Prinzip berechnen. Spezielle Beispiele s. Kap. 12.

Diese Formel ist äußerst wichtig: sie zeigt, von welchem schädigenden Einfluß elastische Verbindungen sein können.

E. Der Einfluß von Luftblasen.

Ebenso wie Schlauchverbindungen verhalten sich Luftblasen oder überhaupt eine Luftschicht, wie sie z. B. bei dem Lufttonographen zwischen die Flüssigkeit und dem Membranquerschnitt eingeschaltet ist. Die wirksame Masse der Flüssigkeit vermehrt sich dann proportional einem Faktor:

$$\left(1+\frac{E' Q \cdot L}{\chi}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

(Gleichung 26 S. 548 der Kritik.)

In dieser Formel bedeutet χ den Elastizitätskoeffizienten der Luft. Er ist gleich dem Druckzuwachs, den eine Kompression der Volumeinheit der Luft hervorruft. Verlaufen die Zustandsänderungen isotherm, dann ist χ nach dem Mariotteschen Gesetz gleich b; d. h. gleich dem mittleren Druck, unter dem die Luft bei den Bewegungen steht. Kann man die Zustandsänderungen als adiabatisch auffassen, so ist $\chi = k \cdot b = 1{,}4\,b$ zu setzen. (S. 538/39 der Kritik.)

Die Behandlung der Luftsysteme selbst erfolgt in dem Kapitel 14: Theorie der Lufttransmission.

Aus diesen Formeln läßt sich die wichtige Folgerung ableiten, daß die Einschaltung von elastischen Faktoren in die Röhrenverbindung, sei es von Schlauchstücken oder Lufträumen, um so mehr die wirksame Masse vergrößert, je näher sie sich dem Membranquerschnitt befinden, d. h. je größer die Masse ist, die von ihnen bis zu der Kanüle reicht. Es läßt sich ferner aus den Formeln ersehen, daß die wirksame Masse um so mehr vergrößert wird, je größer der Elastizitätskoeffizient des Manometers ist. Eine Luftblase oder eine Schlauchverbindung drückt die Leistungen des Manometers um so mehr herab, je größer sein Elastizitätskoeffizient E' ist. Das ist besonders zu beachten bei einem Instrument, dessen ganze Leistungsfähigkeit von dem hohen Elastizitätskoeffizienten abhängt, wie z. B. dem Bayliss und Starlingschen Luftmanometer, oder auch bei dem von mir konstruierten Spiegelmanometer, das die maximale, bis jetzt erreichte und wohl überhaupt erreichbare Güte besitzt (s. unten Kap. 6).

F. Die Reibungskonstante K'.

Über die Reibungskonstante läßt sich wie immer in solchen Fällen theoretisch nur wenig sagen. Ich habe in meinen Untersuchungen S. 579 ff. der „Kritik" eine Übersicht über die hier in Betracht kommenden Verhältnisse zu geben versucht. Bemerkenswert aus diesen Erörterungen ist, daß die Reibungskonstante sowohl durch die Reibung der Flüssigkeit in der Röhre als auch durch die innere Reibung der Membran, speziell der Gummimembran, bedingt ist. Meine damaligen Versuche haben das wichtige Resultat ergeben, daß im allgemeinen die innere Reibung der Gummimembran wesentlich überwiegt. Die Dämpfung wird also, wenn nicht durch eine besondere Verengerung der Flüssigkeitsbahn die Flüssigkeitsreibung stark vermehrt ist, hauptsächlich durch den Gummi bedingt. Jedenfalls erscheint danach die

innere Reibung des Gummis als ein wesentlicher Bestandteil der Dämpfung. Spätere vielfältige Erfahrungen haben mich von der Richtigkeit dieser Aufstellungen, die aus den verschiedensten Gründen eine weitere Untersuchung wünschenswert erscheinen lassen, überzeugt. Man kann eigentlich stets, wenn bei einem derartigen einfachen System, wie ich es hier betrachte, nur schwach gedämpfte Schwingungen auftreten, schließen, daß sie durch die Elastizität von anderen Materialien als Gummi, etwa durch Luftblasen oder dergleichen, bedingt sind.

G. Die Dauer der Eigenschwingungen T.

Die Schwingungsdauer eines derartigen einfachen Flüssigkeitssystemes, eines einfachsten Manometers, ergibt sich nun zu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M'}{E'}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

falls die Dämpfung nicht sehr beträchtlich ist (s. Kritik S. 609).

Wenn diese Systeme mit Hebeln verbunden sind, wird ihre Schwingungsdauer nach dem in Bd. I, 4 auseinander gesetzten Prinzip berechnet (s. auch Kap. 4 Manometer).

Die fiktive Masse (s. Prinzipien der graphischen Registrierung Bd. I, 4) wird zu,

$$\mu = \frac{T^2}{4\pi^2 + D^2}$$

oder falls das Dekrement klein ist

$$\mu = \frac{T^2}{4\pi^2} = 0{,}02533\ T^2 = \frac{M'}{E'}.$$

Die fiktive Dämpfung berechnet sich zu:

$$\varkappa = \frac{4D}{T} \cdot \mu$$

oder wenn das Dekrement klein ist, wird

$$\varkappa = \frac{D \cdot T}{\pi^2} = 0{,}1013\, D \cdot T.$$

Über die Wichtigkeit dieser Größen für die Korrektur der registrierten Kurven ist in den Prinzipien der graphischen Registrierung Bd. I, 4 das Nötige gesagt.

H. Praktische Konsequenzen aus den Erörterungen dieses Kapitels.

Die sämtlichen mathematischen Beziehungen haben sich, wie in der „Kritik“ und in der „Statik“ ausführlich gezeigt worden ist, durch die Versuche als vollständig hinreichend richtig erwiesen.

Man kann aus ihnen wichtige Folgerungen für die praktische Verwendung von Flüssigkeitssystemen, zunächst den einfachen Manometern, zu Registrierzwecken ziehen. Vor allem für die Bewertung der wirksamen Masse, die eine wesentliche Konstante derartiger Systeme ist. Die Formeln 5—9 ermöglichen leicht, aus dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit, das

bei inkompressiblen Flüssigkeiten nicht weit von 1 entfernt ist, und den Dimensionen der Röhre die wirksame Masse zu berechnen. Sie zeigen vor allem, daß die wirksame Masse umgekehrt proportional dem Querschnitt ist. Man hat dadurch ein wichtiges Mittel für die Verbesserung der Leistungen dieser Systeme gewonnen. Zugleich erkennt man, daß bei Manometersystemen ein wesentlicher Teil der wirksamen Masse der Flüssigkeit in den relativ engen Kanülen sich befindet. Ferner zeigen die Formeln 8 und 9 den außerordentlichen Einfluß der Schlauchverbindungen und Formel 10 denjenigen von Luftblasen und lassen diese Einflüsse aus den Konstanten der Materialien ziffermäßig bemessen. Die experimentelle Bestimmung der Eigenschwingungsdauer wird in den Kapiteln 11 (S. 65) und 14 beschrieben werden.

O. Frank, Kritik der elastischen Manometer. S. Kap. 1.

Kapitel 3.

Theorie der Membransysteme.

(Manometerkapsel, Mareysche Kapsel etc.)

Deformationen der Membran.

Der Hauptteil eines Membransystems besteht aus einer elastischen Membran, die über den Rand einer Trommel gespannt ist. Auf die Membran wirken, durch eine in einem Röhrensystem befindliche Flüssigkeit übertragen, hydrostatische Drücke ein. Die Membran wird dadurch deformiert. Werden die Membransysteme als Registriersysteme verwendet, so muß aus besonderen Gründen, die aus der weiteren Analyse hervorgehen, stets auf sie eine im allgemeinen starre Platte geklebt werden, deren Durchmesser am besten (s. unten) größer als der halbe Durchmesser der Membran ist. Ihr Mittelpunkt bewegt sich bei der Deformation um einen bestimmten Betrag, den Ausschlag der Membran. Derartige Membransysteme werden vor allem bei den elastischen Manometern im engeren Sinne verwendet, also für kraftregistrierende Systeme, aber auch in der Form der Mareyschen Kapsel für bewegungregistrierende Systeme.

Für die Analyse der Mechanik dieser Systeme muß man die Deformation kennen, welche die Membran unter der Einwirkung von Kräften erfährt, und zwar nicht nur unter der Wirkung von hydrostatischen Drücken, sondern auch unter einer Wirkung einer zentrisch auf die Platte wirkenden Kraft. Während für die Analyse der Bewegung der Flüssigkeit, die sich mit der Membran bewegt, die erstere Deformation maßgebend ist, also für den Ausschlag, ferner für die Größe des Volum-Elastizitätskoeffizienten E' und damit für die Schwingungsdauer dieses Flüssigkeitssystems, ist die letztere von Bedeutung für die Analyse eines mit der Membran verbundenen Hebelsystems. Den Elastizitätskoeffizienten, der für die Beurteilung der Wirkung einer zentrisch an der Platte angreifenden Kraft P in Betracht kommt, bezeichne ich mit η (s. Kap. 2 B.).

A. Deformation unter der Einwirkung eines hydrostatischen Druckes.

Schon in der Kritik S. 497 ff. war versucht worden, eine Vorstellung über die Form der ausgebauchten Membran zu erhalten, um über die Beziehungen zwischen dem Volumen, das bei einer bestimmten Druckdifferenz durch den Membranquerschnitt hindurchtreten muß, und dieser Druckdifferenz, ferner über die Größe des Ausschlags der Membran auf einen bestimmten Druck ins klare zu kommen. Die Überlegungen, die hier angestellt worden waren, sind für die Erledigung der Hauptfragen unzulänglich. Aber es konnten doch einige wichtige Punkte festgestellt werden. So wurde experimentell gezeigt, daß die Form, welche eine durch einen hydrostatischen Druck deformierte Membran annimmt, verschieden ist, je nachdem die Membran von vornherein gespannt oder ungespannt ist. In letzterem Fall deformiert sie sich, besonders wenn sie dick ist, ähnlich wie eine hart-elastische Platte so, daß ihre Biegungslinie der Gleichung einer elastischen Linie folgt, d. h. die Form eines flachen Omega annimmt. Auf der anderen Seite wurde es durch gewisse rechnerische und experimentelle Schlüsse wahrscheinlich gemacht, daß man der Wahrheit am nächsten kommt, wenn man die Form einer von vornherein gespannten, durch einen hydrostatischen Druck deformierten dünnen Membran als ein Paraboloid auffaßt. Es war hieraus der praktisch wichtige Schluß gezogen, daß, wenn bei einem Manometer der Elastizitätskoeffizient allein durch die elastischen Eigenschaften einer Membran bedingt ist, also bei einem reinen Membranmanometer, die Proportionalität zwischen Ausschlag und einwirkendem Druck nur dadurch zu erzielen ist, daß die Membran von vornherein gespannt ist, da im anderen Fall durch den Übergang von der einen Deformation zur anderen Disproportionalität zustande kommt. Dieser Satz hat sich auch in der Folge als streng richtig erwiesen.

Im übrigen war keine Möglichkeit gegeben, aus diesen Erörterungen die Gesichtspunkte zu entnehmen, die für die weitere Analyse absolut notwendig waren. Dies ist gelungen durch die Aufstellung der Differentialgleichung für die Deformation einer gespannten Membran, welche sie unter der Einwirkung eines hydrostatischen Drucks oder anderer deformierender Kräfte erfährt (s. „Statik").

Bezeichnet S die Spannung der Membran, d. h. die auf die Einheit der Länge irgend eines Querschnittes der Membran ausgeübte Spannung, und ist y die senkrecht zur Membranebene erfolgende Exkursion eines Punktes der Membran, der in der Entfernung x von dem Mittelpunkt der Membran liegt, so lautet die Differentialgleichung für kleine Exkursionen der Membran (Statik S. 496):

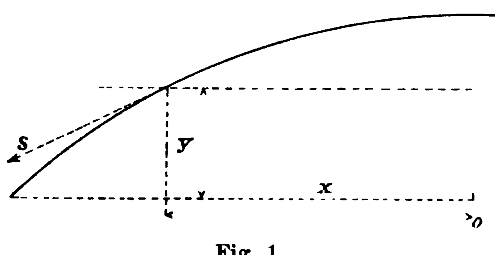


Fig. 1.
Membrandeformation.

$$-\frac{dy}{dx} S \cdot 2x\pi = x^2 \pi \cdot p \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

(s. Gleichung (1), S. 496 d. Statik). Diese Differentialgleichung ergibt bei der Integration als Schnittkurve die Gleichung einer Parabel: durch die Einwirkung des hydrostatischen Drucks wird die Membran zu einem Paraboloid. Durch eingehende Versuche, speziell durch die Photographie der medianen Schnittkurve — Aufnahme der Silhouette einer größeren deformierten Membran — haben Petter und ich gezeigt, daß in einem weit größeren Bereich als dies bei den tatsächlich angewendeten Ausschlägen der Manometer der Fall ist, die Form der Biegungslinie von einer Parabel nicht wesentlich abweicht, daß also die Grundlagen unserer Theorie vollständig für die praktische Verwertung ihrer Ergebnisse ausreicht. Die Parabel ist als diejenige Kurve zu bezeichnen, die in den für das Problem wesentlichen Eigenschaften der wahren komplizierteren Schnittkurve am nächsten kommt. Die Voraussetzung für die Lösung des Problems ist die, daß die Biegung der Membran keine Kräfte erfordert, daß die Spannung S durch die ganze Membran hindurch dieselbe ist und bleibt und daß die Exkursionen klein sind, so daß Sinus und Tangente miteinander vertauscht werden können. Es sind dieselben Voraussetzungen, unter denen Sophie Germain, Kirchhoff, Riemann, Heinrich Weber u. a. das allgemeinere Problem der Bewegungen von Membranen gelöst haben. Meine Gleichung ergibt sich, wie ich weit später gefunden habe, als ein spezieller Fall dieser allgemeineren Gleichung. „Über die endlichen, d. h. nicht sehr kleinen Ausbauchungen einer ausgespannten elastischen Membran" habe ich in einer Abhandlung der Zeitschrift für Biologie 1907 im Anschluß an einen Vortrag in dem Gießener Physikalischen Kolloquium berichtet. Diese Frage tangiert das Manometerproblem nicht.

B. Die Empfindlichkeit des Membransystems.

Die Differentialgleichung ergibt die Lösung der aufgestellten Probleme. Es ist die wichtige Grundgleichung für die Behandlung aller Instrumente, bei denen Membranen in Anwendung kommen Die Folgerungen aus ihr sind unmittelbar von Petter und mir durch eine große Anzahl in der Statik beschriebener Experimente verifiziert und später durch die praktischen Erfolge bei der Konstruktion von neuen Instrumenten in geradezu überraschender Weise bestätigt worden. Ich gebe hier die wichtigen Gleichungen wieder: Zunächst ist zu bemerken, daß bei den Manometern im allgemeinen niemals die freie Membran angewandt wird, sondern fast immer so, daß in ihrer Mitte eine starre Platte aufgeklebt ist, die mit dem Hebelsystem verbunden ist. Nennt man den Radius der Trommel r, den Radius der starren Platte ϱ, so erhält man für den Ausschlag f der Membran den Wert:

$$f = \frac{p}{S} \frac{r^2 - \varrho^2}{4} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

(s. Gleichung (3), S. 497 der Statik). Führt man, wie stets im folgenden, das Verhältnis der Radien der Platte und der Trommel ein, das Radienverhältnis δ, so erhält man den Wert

$$\frac{f_e}{p} = \gamma_e = \frac{r^2 (1 - \delta^2)}{4 S} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

s. Gleichung (3a), S. 497 der Statik). Durch diesen Ausdruck wird die Druckempfindlichkeit eines Manometers aus den Dimensionen der Membran und der Platte, weiter der Spannung der Membran, bestimmt. Sie ist unter gleichen Verhältnissen proportional dem Quadrat des Radius.

C. Der Volum-Elastizitätskoeffizient E′.

Aus denselben Größen läßt sich nun auch der Elastizitätskoeffizient theoretisch ableiten. Er ist

$$E' = \frac{8\,S}{r^4(1-\delta^4)\,\pi} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (4)$$

(s. Gleichung (5), S. 497 der Statik).

U wird:

$$\frac{r^2(1+\delta^2)\,\pi}{2} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (5)$$

D. Die Spannung der Membran S.

Die Grundgröße, aus der alle anderen abgeleitet werden können, ist die Spannung der Membran S. Sie ist äußerst schwer experimentell zu bestimmen. Es war daher absolut notwendig, um die Folgerungen der Gleichungen experimentell zu prüfen, die Spannung aus der zu ihrer Erzeugung erforderlichen Dehnung der Membran theoretisch abzuleiten. Die gewöhnliche Theorie der Elastizität reicht hierzu, da es sich nicht um unendlich kleine Dehnungen, sondern um endliche handelt, nicht aus. Ich habe deshalb die Theorie der endlichen Dehnungen im allgemeinen und für einzelne spezielle Fälle, wie die gleichmäßige Dehnung einer ebenen Membran in einer besonderen Abhandlung (1906) entwickelt und für die Beziehung, die hier interessiert, die folgende Gleichung gefunden:

$$S = 2\,E\,z_1 \cdot \frac{\Delta}{(1+\Delta)^2} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (6)$$

(s. Gleichung (18) der zitierten Abhandlung). Δ bedeutet hier die spezifische Dehnung, z_1 die ursprüngliche Dicke der Membran und E den Elastizitätsmodul der Substanz der Membran, im allgemeinen Gummi.

E. Die Deformation durch eine zentrisch auf die Membran wirkende Kraft. Der Elastizitätskoeffizient η.

In der Kritik der Manometer habe ich den ersten Versuch gemacht, auch das Hebelmanometer zu behandeln, d. h. ein Manometer, bei dem die Masse der eigentlichen Registriervorrichtung nicht wie bei dem Stift- oder Spiegelmanometer vernachlässigt werden kann. Ich habe in den Seiten 528 bis 535, ferner S. 552—570 Überlegungen angestellt, die zu einer Schätzung der Massenwirkung bei diesen Instrumenten dienen sollen. Die Überlegungen waren unzulänglich, besonders deshalb, weil die Deformationen der Trägheitskräfte, die durch die Bewegungen des Hebelwerks erzeugt werden, mir unbekannt blieben. Die Lösung dieses Problems wurde durch die Aufstellung der Deformationsgleichung ermöglicht. Sie wird nach denselben

Prinzipien entwickelt wie die Gleichung, durch welche die Deformationen der Membran unter der Einwirkung eines hydrostatischen Drucks bestimmt werden.

Die Gleichung lautet:

$$-\frac{dy}{dx}\cdot S\cdot 2x\pi = P \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

(s. Gleichung (6), S. 497 der Statik). Es ist die Gleichung für die Deformation der Membran durch eine zentrisch auf die Membran oder die Platte wirkende Einzellast P.

Ist die Membran auf einer Trommel von dem Radius r aufgespannt, so ergibt die Integration:

$$y = \frac{P}{2S\pi}\, l\left(\frac{r}{x}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

(s. Gleichung (7), S. 497 der Statik), d. h. die Schnittkurve der deformierten Membran ist eine logarithmische Kurve. Der Ausschlag der Membran wird zu

$$f = \frac{P}{2S\pi}\, l\left(\frac{1}{\delta}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

(s. Gleichung (8), S. 498 der Statik), ist also unabhängig von dem Durchmesser der Trommel, und unter sonst gleichen Bedingungen nur von dem Radienverhältnis δ abhängig.

Der Elastizitätskoeffizient für die zentrisch wirkende Kraft, d. h. der Quotient aus dieser Kraft und dem durch sie erzeugten Ausschlag ist gleich

$$\eta = \frac{2\pi S}{l\left(\frac{1}{\delta}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

(s. Gleichung (10), S. 498 der Statik).

Der Elastizitätskoeffizient η ist also von der Größe der Trommel unabhängig.

In Kap. 2 B ist auf die Bedeutung des Quotienten U^2E'/η aufmerksam gemacht worden. Er wird für das einfache Membransystem zu:

$$\frac{(1+\delta^2)\, l\left(\frac{1}{\delta}\right)}{1-\delta^2} = \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Damit ist die Grundlage für eine erschöpfende Behandlung der Dynamik der Membranhebelsysteme gegeben. Vor der Entwicklung dieser Formeln konnte ich nur streng die Theorie eines idealen Kolbenmanometers (s. unten Kap. 5) entwickeln.

F. Praktische Verwertung der Theorie.

Aus diesen Formeln und den Ergebnissen der im Anschluß an ihre Entwicklung angestellten Experimente ergeben sich einige wichtige praktische Grundsätze.

Die obige Formel (3) zeigt, daß unter den Voraussetzungen der Theorie Proportionalität zwischen Ausschlag und einwirkendem Druck herrscht. Die hier heranzuziehende Voraussetzung ist die, daß die Spannung der Membran sehr groß ist. Wenn dies nicht der Fall ist, so wächst bei der Ausbauchung der Membran die Spannung unverhältnismäßig stark an und die Empfindlichkeit nimmt stark ab. Eine zu geringe Anfangsspannung S bedingt also eine ungleichmäßige, mit wachsenden Drücken stark kleiner werdende Empfindlichkeit, auch dann, wenn die Membran sehr dünn ist und ihr Übergang aus dem ebenen Zustand in den ausgebauchten also nicht in der Form einer durchbogenen, hart-elastischen Platte, sondern sofort als Paraboloid erfolgt (s. oben S. 13). Nun haben die Experimente ergeben, daß bei einer ursprünglichen Dehnung von 7%, welche sie in dem eben aufgespannten Zustand besitzt, schon eine genügende Gleichmäßigkeit der Empfindlichkeit erreicht wird. Für eine derartige Dehnung von 7% wird die Spannung S einer ursprünglich 1 cm dicken Membran rund 10^6.

Eine große Anzahl von weiteren Experimenten, die ohne jede Voreingenommenheit vor der Aufstellung der Theorie angestellt waren, hat nun die überraschende Tatsache ergeben, daß, wenn man der Membran beim Aufbinden lediglich dem Gefühle nach eine kräftige Spannung erteilt, man sich nicht weit von dieser Grenze entfernt. Wesentlich geringere Dehnungen lassen die Membran sehr schlaff erscheinen, während größere bald Schwierigkeiten beim Aufbinden machen. Wir haben deshalb die Spannung 10^6 einer 1 cm dicken Membran, die sich streng ergibt, wenn eine Dehnung von 7% erfolgt, d. h. der Radius der gedehnten Membran 7% länger ist als derjenige der ungedehnten, als „Normalspannung“ bezeichnet. Die Spannung S einer Membran von anderer Dicke, die ebenso stark gedehnt ist, erhält man durch Multiplizieren der Dicke mit der Normalspannung. Diese einfachen Beziehungen haben sich bei unseren vielfältigen praktischen Erfahrungen als äußerst nützlich erwiesen. Wenn man eine Schätzung der Empfindlichkeit eines Membranmanometers, bei dem die Membran aufgebunden ist, vornehmen will, hat man also nichts weiter zu tun, als ihre Dicke in nicht ausgedehntem Zustand zu bestimmen. Will man genauer verfahren, so genügt eine Bestimmung der Dicke und des Dehnungsgrades. Eine bestimmte Dehnung wird am besten so eingehalten, daß man auf die Membran eine kreisförmige Marke mit einem Stempel aufdrückt. Der Kreis ist um so viel kleiner, als der Trommelumfang, wie die Dehnung betragen soll. Bei dem Aufbinden wird die Membran so weit gedehnt, bis der Umfang der kreisförmigen Marke sich mit dem Trommelumfang deckt.

So gelingt es, durch die einzige Bestimmung der Dicke der Membran zu einer Schätzung der Größe des Elastizitätskoeffizienten E′ und der Empfindlichkeit der Membran zu kommen. Unsere Analyse ermöglicht also die Zurückführung aller wichtigen Konstanten der Membran auf diejenige des Elastizitätsmoduls der Membran.

Weiter ist hier darauf aufmerksam zu machen, daß nach der Formel (3) die Empfindlichkeit mit der Vergrößerung der Trommel stark wächst, daß der Volumelastizitätskoeffizient E′ nach der Formel (4) in noch stärkerem Verhältnis mit der Vergrößerung des Trommeldurchmessers abnimmt. Und

zum Schluß, daß der Elastizitätskoeffizient η nach Formel (9) von der Größe der Trommel unabhängig ist.

Eine Reihe von praktisch wichtigen Werten dieser Größen stelle ich in den folgenden Tabellen zusammen, zunächst die Werte der verschiedenen Funktionen von δ, die in den Formeln vorkommen.

δ	$l\left(\frac{1}{\delta}\right)$	$1-\delta^2$	$1+\delta^2$	$1-\delta^4$	$\frac{4 l\left(\frac{1}{\delta}\right)}{1-\delta^4}$	$\frac{(1+\delta^2) l\left(\frac{1}{\delta}\right)}{1-\delta^2}$
0	∞	1	1	1	∞	∞
0.20	1.609	0.960	1.040	0.998	6.448	1.744
0.50	0.693	0.750	1.250	0.938	2.958	1.155
0.60	0.511	0.640	1.360	0.870	2.348	1.086
0.65	0.431	0.578	1.423	0.822	2.098	1.061
0 67	0,401	0.551	1.449	0.799	2.006	1.053
0.70	0.357	0.510	1.490	0.760	1.877	1,042
0.75	0.288	0.438	1.563	0.684	1.683	1.027
0.80	0,223	0.360	1.640	0.590	1.512	1.017
0.85	0,163	0.278	1.723	0.478	1.360	1.009
0.90	0.105	0.190	1.810	0.344	1.226	1.004
1	0	0	2	0	1	1

Die nächste Tabelle enthält die Werte der reziproken Empfindlichkeit $^1/_\gamma$, der Elastizitätskoeffizienten E' und η für verschiedene Trommeldurchmesser. Sie gelten für die „Normalspannung“ und für eine Membrandicke von 0,1 mm, also für die Spannung $S = 10^4$. Das Verhältnis des Plattendurchmessers zu dem Trommeldurchmesser ist dabei zu 0,67 angenommen, welches Verhältnis aus theoretischen und technischen Gründen im allgemeinen rationell ist.

Durchmesser der Trommel	$\frac{1}{\gamma}$ in 10^3	E' in 10^3	η in 10^3
d = 0.3	3225	63 150	156,4
0,4	1816	19 960	156.4
0.5	1160	8 170	156,4
0,6	807	3 940	156,4
0,7	593	2 130	156,4
0,8	453	1 246	156.4
0,9	358	779	156,4
1,0	290	511	156,4
1,5	129	101	156.4
2,0	73	31,9	156,4
2,5	46	13,1	156,4
3.0	32	6,3	156,4
4,0	18	2,0	156,4
5,0	12	0,8	156,4

$\delta = 0{,}67$ angenommen. S für 0,1 mm. Membrandicke $= 10^4$. Die Werte von $\frac{1}{\gamma}$, E' und η sind für eine andere Membrandicke von $\frac{n}{10}$ mm mit n zu multiplizieren. $\frac{1}{\gamma}$ ist der Druck, der einen Ausschlag der Platte von 1 cm erzeugt.

O. Frank und J. Petter 1906. Statik der Membranmanometer und der Lufttransmission. Ztschr. f. Biologie XLVIII, S. 489–527. (Theorie von O. Frank.)

O. Frank 1906. Die Analyse endlicher Dehnungen und die Elastizität des Kautschuks. Annalen der Physik, IV. Folge, Bd. 21, S. 602—608.

O. Frank 1907. Endliche Ausbauchungen einer aufgespannten Membran. Ztschr. f. Biol. 4, S. 281.

Kapitel 4.

Theorie der Manometer.

Die Manometer (Tonographen nach v. Frey) sind Systeme, die zur Registrierung des hydrostatischen Drucks dienen. Sie gehören also zu den kraftregistrierenden Instrumenten und werden nach den für diese in Bd. I, 4 entwickelten Prinzipien behandelt.

Die einfachen Manometer bestehen aus einer mit Flüssigkeit oder mit Luft gefüllten Röhre, die durch eine Kanüle mit dem Lumen des Gefäßsystems in Verbindung steht. Dem einwirkenden Druck wird durch verschiedenartige Gegenkräfte das Gleichgewicht gehalten, die am Ende des Röhrensystems durch die Verrückung der Flüssigkeit erzeugt werden. Sie bestehen in dem Druck, den eine ausgebauchte Membran ausübt, ein Druck, der unter Umständen durch eine auf diese Membran drückende Feder vermehrt wird, oder in dem Druck, der durch einen von einer Feder bewegten Kolben oder durch eine gehobene Flüssigkeitssäule oder durch eine komprimierte Luftblase ausgeübt wird.

Alle diese Gegenkräfte verhalten sich wie elastische Kräfte.

Das System reicht von der Mündung der Kanüle, der Verkoppelungsstelle, bis zu dem Endquerschnitt, wo diese Gegenkräfte erzeugt werden.

Der Druck wird aus dem Ausschlag des Instruments bestimmt, d. h. der Exkursion des Endpunktes des Systems, entweder eines Punktes der Membranplatte oder des Kolbens oder des Endniveaus der gehobenen Flüssigkeit usw.

Diese Exkursion ist um so größer, je größer der einwirkende Druck ist. Man wird im allgemeinen den Ausschlag proportional dem Druck zu halten suchen. Selbst wenn dies nicht streng der Fall ist, genügt für die weiteren theoretischen Erörterungen diese Annahme, da es in den meisten Fällen bei der theoretischen Analyse nur auf die Proportionalität in einem beschränkten Bezirk der Ausschläge ankommt.

Wesentlich ist für die Theorie der Manometer, daß der auf das Instrument einwirkende Druck nach der Deformation bemessen wird, die ein elastisches System durch diesen Druck erfährt. Die durch Herstellung eines statischen Gleichgewichts, durch die sogenannte Eichung, ermittelte Bezie-

hung zwischen dem einwirkenden Druck und der Deformation dient zur Bemessung dieses Druckes (s. Bd. I, 4).

Bei dem Quecksilbermanometer und dem offenen Wassermanometer wird die Flüssigkeit nicht durch eine Membran oder einen Kolben abgeschlossen. Mit dem einwirkenden Druck setzt sich bei ihnen der durch Verrückung der Flüssigkeitssäule erzeugte hydrostatische Druck ins Gleichgewicht. Aus dieser Beschreibung geht hervor, daß zwischen den Membran- und Kolbenmanometern und dem offenen Flüssigkeitsmanometer (Gravitationsmanometer) kein prinzipieller Unterschied besteht. Die Kraft, die sich mit dem zu messenden Druck ins Gleichgewicht zu setzen hat, wächst ebenfalls mit der Deformation und zwar hier streng proportional. Sie wirkt also wie eine elastische Kraft, wie dies für kraftregistrierende Instrumente notwendig ist. Eine Eichung des Instruments braucht nicht vorgenommen zu werden, weil die Empfindlichkeit aus den Gesetzen der Hydrostatik von vornherein bekannt ist. Das Quecksilbermanometer und das offene Wassermanometer kann also genau so wie die anderen elastischen Manometer behandelt werden.

Die Exkursion des elastischen Systems ist meistens so gering, daß sie zur Registrierung vergrößert werden muß, entweder durch optische Hilfsmittel oder durch materielle Hebelsysteme. Optisch können die Exkursionen so registriert werden, daß der Ausschlag des Endpunktes des Systems, des Mittelpunktes der Membran oder des Flüssigkeitsmeniskus usw., durch ein Mikroskop vergrößert projiziert wird. Diese Art der Registrierung bringt zu der Flüssigkeitsmasse selbstverständlich keine weitere hinzu. Aber auch wenn man den Ausschlag der Membran durch ein mit ihr verbundenes Spiegelsystem vergrößert registriert, kann man die Masse dieses Spiegels vernachlässigen, sofern das Spiegelsystem zweckmäßig konstruiert ist (siehe Bd. I, Abt. 4). Das System besteht in diesen Fällen nur aus der Flüssigkeit und der als masselos zu betrachtenden Membran oder dem mit Federkraft wirkenden Kolben usw. Die Bewegungen des Hg-Manometers werden im allgemeinen durch ein Schwimmersystem, und zwar nicht vergrößert, registriert. Dieser Schwimmer kann in die Masse der Flüssigkeit eingerechnet werden. Die Behandlung dieses Instruments ist daher eine ebenso einfache wie diejenige des Spiegelmanometers.

Wesentlich schwieriger ist die theoretische Behandlung derjenigen Manometer, bei denen die Exkursion des Kolbens, der Membran usw. durch ein Hebelsystem aufgeschrieben werden, dessen Masse nicht mehr vernachlässigt werden kann.

Die theoretische Behandlung der Manometer folgt zunächst den allgemeinen Prinzipien der graphischen Registrierung (Bd. I, 4), im besonderen den für die Theorie der Flüssigkeitssysteme und der Membransysteme gegebenen Regeln. Als Kraftsysteme müssen sie möglichst isometrisch arbeiten, um eine geringe Rückwirkung auszuüben, die nach der an dem Verkoppelungspunkt erzeugten Bewegung gemessen wird. Die Einschaltung von elastischen Faktoren in das Röhrensystem vergrößert die Rückwirkung und da sie auch die dynamische Entstellung der Kurve wegen der Vergrößerung der wirksamen Masse erhöht (s. Kap. 2 und unten), wird man sie, wenn nicht besondere technische Gründe dafür sprechen, möglichst vermeiden. Aus diesen Gründen

wird man wohl kaum den Lufttonographen (Fick 1883; v. Frey 1890, 1893) so leistungsfähig gestalten können, wie das Manometer, das vollständig mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllt ist. Daß die Rückwirkung dieses Instrumentes groß ist, hat Hürthle (1893) experimentell gezeigt, wenn er auch den Begriff der Rückwirkung nicht bestimmt definiert hat. Ich werde deshalb von einer besonderen Analyse der Lufttonographen absehen. Sie läßt sich übrigens unschwer nach den vorher und im folgenden entwickelten Grundsätzen durchführen.

Ich behandle zunächst die optischen Manometer, d. h. solche, bei denen ein materielles Hebelsystem zur Registrierung des Ausschlags nicht verwendet wird oder seine Trägheitskräfte keine Rolle spielen, dann die Hebelmanometer, bei denen das Hebelsystem ein wesentlicher Bestandteil ist, die Transmissionsmanometer (s. Kap. 16), und die Methoden zur unblutigen Druckmessung, bei denen das Gefäßsystem nicht eröffnet wird. Weiter bespreche ich die von der hier entwickelten Theorie verschiedenen experimentellen und theoretischen Prüfungsmethoden und zum Schluß die Möglichkeiten für eine Erhöhung der Leistung der Manometer.

A. Theorie der einfachen optischen Manometer.

Zu den optischen Manometern rechne ich die Spiegelmanometer, sofern die Masse des Spiegels keine Rolle spielt, das Luftmanometer von Bayliss und Starling und auch das Quecksilbermanometer (Gravitationsmanometer), wenn bei ihm kein Hebel zur Registrierung verwendet wird. Da der eine Teil der Hebelmanometer identisch ist mit diesen Systemen, so gelten alle Erörterungen dieses Kapitels auch für ihn.

a) Statik der optischen Manometer.

Wichtig ist die Ermittlung des Volumelastizitätskoeffizienten E′ Er wird für die Membranmanometer nach der Formel (4) von Kap. 3 aus der Spannung der Membran und ihren Dimensionen und den Dimensionen der Platte berechnet. Für den Volumelastizitätskoeffizienten eines besonderen Membranmanometers, des Federmanometers, und denjenigen des Quecksilbermanometers werden in den Kapiteln 8 und 9 die Beziehungen entwickelt.

Die Empfindlichkeit des Membranmanometers, die Größe γ_e, wird aus der Formel (3) Kap. 3 ermittelt; die des Registrierpunktes wird durch Multiplikation mit v, der optischen Vergrößerung, erhalten (s. Bd. I, 4). Die Werte für das Federmanometer und das Quecksilbermanometer finden sich in den Kapiteln 8 und 9.

Der Elastizitätskoeffizient E_k (s. Bd. I, 4) ist für die mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllten Manometer $= \infty$: Die Volumbewegungen an der Verkoppelungsstelle sind ebenso groß wie am Ende des Systems.

b) Dynamik der optischen Manometer.

Die Schwingungsdauer bestimmt sich nach der Formel

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M'}{E'}}.$$

Der Dämpfungskoeffizient K′ kann nur experimentell ermittelt werden (s. Kap. 2). Dabei ist zu bemerken, daß hier alles das, was über die Größe

der wirksamen Masse M' in Kapitel 2 gesagt worden ist, in Betracht kommt, d. h. der Inhalt der Formeln (5) bis (10). Diese Formeln bestimmen den Einfluß der Länge und des Querschnitts der Flüssigkeitssäule, vor allem aber auch die Wirkung von eingeschalteten elastischen Faktoren, wie Schlauchverbindungen und Luftblasen. Aus den Formeln, die den Einfluß der letzteren charakterisieren, kann man auch die Behandlung der Lufttonographen (s. S. 21) entnehmen.

Die Korrektur wird nach der Formel (11) von Bd. I, 4 berechnet. Sie ermöglicht, aus der registrierten Kurve den Druckablauf an der Verkoppelungsstelle zu berechnen.

Das Manometersystem reicht von der Mündung der Kanüle bis zu dem Ende des Instruments. Die Mündung der Kanüle ist die Koppelstelle. Ist die Kanüle endständig in einen Seitenast der betreffenden Arterie eingebunden, in der man die Druckschwankungen bestimmen wollte, und ragt sie nicht bis an das Lumen dieser Hauptarterie heran, so erhält man bei der rechnerischen Korrektur nicht die Druckschwankungen in der Hauptarterie, sondern an der Mündungsstelle der Kanüle, die, entsprechend der Länge des Stücks des Seitengefäßes, von der Druckschwankung in dem Hauptgefäß verschieden sind. Will man diese durch rechnerische Korrektur bestimmen, so muß man in das Manometersystem noch die Konstanten der toten Strombahn des Seitenastes einbeziehen. Die Rückwirkung wird nach den Formeln (16—18) von Bd. I, 4 berechnet.

Für ein Manometersystem, das vollständig mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllt ist, ist die rückwirkende Volumbewegung an der Verkoppelungsstelle dieselbe wie in dem Endquerschnitt, weil $E_k = \infty$ ist. Einschaltung von elastischen Faktoren, wie z. B. eines Stücks Arterienrohr oder einer Schlauchverbindung oder einer Luftblase, bedingt eine Vergrößerung der Rückwirkung. Deshalb besitzen die Lufttonographen eine starke Rückwirkung.

Für die Beurteilung der Rückwirkung ist es notwendig, sich zu vergegenwärtigen, daß das Einsetzen des Manometers allein eine Veränderung des Elastizitätskoeffizienten der Arterie bedingt. Wenn man von der Verbindung des Instruments mit dem Gefäßsystem durch eine Seitenwandkanüle, die nur noch selten angewandt wird (s. jedoch Tigerstedt, im Kapitel Lungenkreislauf, Teil II), absieht, so muß zum Einsetzen des Manometers stets der Blutstrom in einem Gefäß unterbrochen werden. Das Gefäß wird durch das Manometer verschlossen. Es fällt also je nach der Länge des noch erhaltenen Gefäßstückes ein größerer oder kleinerer Teil der Elastizität des Seitenastes weg. Da nun der Elastizitätskoeffizient der guten Manometer im allgemeinen sehr groß ist, so wird die Dehnbarkeit des Gefäßsystems an dieser Stelle nicht erhöht, sondern eher vermindert. Die Wirkung des Manometereinsatzes ist also etwa diejenige einer Unterbindung des Seitenastes. Schreibt das Manometer die Druckkurven im wesentlichen korrekt auf, so ist die dynamische Rückwirkung gleich 0. Ist sein Elastizitätskoeffizient niedrig, so wirkt es dann wie ein kleines Aneurysma. Auch bei einem Manometer mit kleinem Elastizitätskoeffizienten E' kann die Rückwirkung unter Umständen gering sein, dann nämlich, wenn es wie z. B. das Hg-Manometer eine große Masse besitzt und die tatsächlich stattfindenden Bewegungen

der Flüssigkeit an der Verkoppelungsstelle nur klein sind, weil hier im allgemeinen für die Pulsdauer der Tiere sich das Manometer vor dem Resonanzpunkt (s. Bd. I, 4) befindet. Das Fick-Hürthlesche Kriterium reicht also auch für die Bemessung der Rückwirkung nicht aus (s. unten).

Zu einem sehr interessanten Ergebnis kommt man, wenn man die Güte des einfachen optischen Manometers bestimmt. Sie ist nämlich gleich

$$G = \frac{v \cdot \gamma_e \cdot E'}{M'} = \frac{v}{M' U_e} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Der Ausdruck zeigt, daß die Güte einmal von der optischen Vergrößerung v abhängt. Über ihre Grenzen s. Bd. I, 4.

Ferner ist die Güte umgekehrt proportional der wirksamen Masse. Über sie ist das Nötige in diesem Kapitel vorher gesagt.

Vor allem hervorzuheben ist aber, daß die Güte der optischen Manometer der Volumübersetzung umgekehrt proportional ist, d. h. der Volumverschiebung an der Endstelle dividiert durch den Ausschlag. Der Wert dieser Volumübersetzung ist bei Kolbenmanometern gleich dem Querschnitt des Kolbens, bei einer Membran ohne Platte gleich der halben Fläche der Membran (Paraboloid!), bei einem geschlossenen Lufmanometer wie dem Bayliss und Starlingschen gleich dem Querschnitt der Kapillare, in der sich die Flüssigkeit bewegt usw. Danach hat von diesen Instrumenten das Membranmanometer ohne Platte die höchste Güte. Die Volumübersetzung hängt von der Konfiguration ab, die der Endquerschnitt bei der Deformation erfährt, ist aber im allgemeinen proportional dem Querschnitt der Röhre an dieser Stelle. Diese Beziehung bestimmt in völlig prägnanter Weise die Güte des Instruments, während der von Hürthle übernommene Ficksche Satz (s. S. 26) auch für das optische Manometer in allen Beziehungen zu unhaltbaren Konsequenzen führt. Der Satz muß lauten: Für das einfache optische Manometer wächst unter sonst gleichen Bedingungen (der optischen Vergrößerung und der wirksamen Masse) die Güte mit der Verkleinerung des Endquerschnittes. Daß die Verkleinerung des Querschnittes von einem gewissen Betrag ab keine wesentliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit der optischen Manometer bedingt, wird im Kapitel 6 auseinandergesetzt. Die besonderen Verhältnisse des Hg-Manometers sind in diesem Satz berücksichtigt und werden in Kap. 9 erörtert.

B. Die Hebelmanometer.

Bei den Hebelmanometern wird die Deformation, welche durch den einwirkenden Druck an dem elastischen druckmessenden Teil des Systems, an der Membran oder dem Kolben, hervorgebracht wird, durch einen materiellen Hebel vergrößert aufgeschrieben.

Die Statik der Hebelmanometer ist nicht anders zu behandeln als diejenige der einfachen optischen Manometer. Nur ist statt der optischen Vergrößerung diejenige des materiellen Hebels, nämlich die Größe L/a zu setzen.

Die dynamische Konstante der Reibung kann wie bei allen anderen Systemen nur durch Versuche festgestellt werden.

Für die Berechnung der zweiten und wichtigsten dynamischen Konstante, der Schwingungsdauer, betrachtet man zunächst die Schwingungen

der Flüssigkeit auf der einen Seite und des Hebels auf der anderen Seite für sich. Die Trägheitskräfte beider Massen, die bei den Schwingungen auftreten, greifen an denselben elastischen druckmessenden Systemteilen, der Membran oder dem Kolben, an, erzeugen aber im allgemeinen verschiedene Deformationen. Die Trägheit der Flüssigkeit deformiert die Membran zu einem Paraboloid, die Trägheit des Hebels zu einer Form mit logarithmischer Schnittkurve. Bei dem Kolbenmanometer wird der Unterschied zu 0.

Die Dauer der Schwingungen der Teilsysteme wird bestimmt durch ihre Massen, die reduzierte Masse des Hebels m und die wirksame Masse M′, und ihre Elastizitätskoeffizienten E′ und η (s. Kap. 3).

Für die Berechnung der Schwingungsdauer des Gesamtsystems gelten die in Bd. I, 4 entwickelten Prinzipien.

Danach ist das Quadrat der Schwingungsdauer des ganzen Systems gleich der Summe der Quadrate der Schwingungsdauern der Einzelsysteme. Die Schwingungsdauer des Flüssigkeitssystems in Verbindung mit der Membran oder dem Kolben ist $= 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'}}$. Die Schwingungsdauer des Hebels in Verbindung mit denselben Teilen ist $= 2\pi\sqrt{\frac{m}{\eta}}$, also die Schwingungsdauer des Gesamtsystems der Manometer gleich:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'} + \frac{m}{\eta}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Daraus berechnet sich der allgemeine Ausdruck für die Güte eines Hebelmanometers zu:

$$v\gamma \left[4\pi^2\left(\frac{M'}{E'} + \frac{m}{\eta}\right)\right].$$

Setzt man in diesen Ausdruck für γ den Wert $\frac{1}{U\,E'}$ ein (s. Kap. 2 (4)), so erhält man:

$$v/4\pi^2\left(U\,M' + \frac{U\,E'\,m}{\eta}\right).$$

Führt man weiterhin für die Größe $\frac{U^2 E'}{\eta}$ die Konstante Φ ein, einen Wert, der nur von der Konfiguration der Kapsel, also bei einem einfachen Membransystem von dem Plattenverhältnis δ abhängt und für das Kolbenmanometer zu 1 wird usw. (s. S. 8 und 16), so erhält man:

$$G = \frac{v}{4\pi^2\left(U\,M' + \frac{m\,\Phi}{U}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Man ersieht aus dieser Formel, daß die Güte ein Maximum für eine bestimmte mittlere Volumübersetzung und damit für einen bestimmten Kapselquerschnitt hat. Diese rationelle Volumübersetzung U bemißt sich zu

$$U \text{ für } G_{max} = \sqrt{\frac{m\,\Phi}{M'}}.$$

Wählt man diese rationelle Volumübersetzung, so wird die Güte gleich:

$$G = \frac{v}{8\pi^2 \sqrt{m M' \Phi}}$$

oder gleich:

$$\frac{1}{\frac{8\pi^2}{\sqrt{3}} \sqrt{L \mu M' \Phi}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Der letztere Ausdruck ist höchst wichtig. Er zeigt, daß die Güte aller Hebelmanometer nur von der Masse des Hebels und der wirksamen Masse der Flüssigkeit abhängt, und nicht von der Empfindlichkeit, insbesondere nicht von der Art, wie diese Empfindlichkeit hergestellt wird, ob durch starke Volumübersetzung und geringe Hebelübersetzung oder umgekehrt. Aus den hiernach theoretisch besten Typen wird man diejenigen auswählen, welche die größten technischen Vorteile bieten. Typen, bei denen die Empfindlichkeit der Kolben- oder Membrankapsel zu groß ist, sind zu verwerfen, ebenso andere, deren Hebelvergrößerung zu stark ist. Bei diesen Überlegungen ist vorausgesetzt, daß die Masse der Membran, der Platte und der Verbindungsteile keine Rolle spielt neben derjenigen des Hebels, und daß der letztere in seiner Länge L ungefähr gleich dicht $= \mu$ ist. Beide Voraussetzungen treffen im allgemeinen zu.

Die Dämpfung der Manometer ist absichtlich bald sehr klein (Rolleston 1887, s. jedoch Kap. 5), bald sehr groß (Kompensation des Quecksilbermanometers durch Marey, Dämpfung der elastischen Manometer durch Hürthle, Porter u. a.) gestaltet worden. Sie muß rationell gehalten werden. Anhaltspunkte hierfür ergeben die Erörterungen in Bd. I, 4.

Über die Transmissionsmanometer handelt das Kapitel 16.

C. Instrumente, die an die Außenfläche des Herzgefäßsystems angelegt werden und zur Druckmessung dienen.

Wenn von außen auf das Gefäßsystem derselbe Druck ausgeübt wird, wie er innerhalb herrscht, dann wird die Spannung der Gefäßwand gleich Null. Da nun die Gefäßwände der Verbiegung nur einen minimalen Widerstand entgegensetzen, so wird bei weiterer minimaler Erhöhung des Drucks ihr Querschnitt elliptisch oder ähnlich deformiert und dann werden sie bis zum Verschwinden ihres Lumens zusammengedrückt. Die Drücke, die zur Herstellung dieses Zustandes, der reicht von der völligen Entspannung bis zum völligen Zusammenklappen, notwendig sind, bestimmen den im Gefäßlumen herrschenden Druck. Man kann also durch Aufhebung der Wandspannung die Druckmessung auch mit Instrumenten vornehmen, die an die Außenfläche des Gefäßsystems angelegt werden.

Wie weit tatsächlich die soeben definierte Voraussetzung bis jetzt erreicht worden ist, wird in dem Kapitel: „Blutdruckmessung beim Menschen" näher auseinandergesetzt. Daß auch der Sphygmograph zu diesen Instrumenten gehört, wird in dem betreffenden Kapitel gezeigt werden. Ferner wird darauf hingewiesen werden, daß der Kardiograph, der ein deformationsregistrierendes Instrument sein soll, diese Eigenschaft verliert, wenn er mit zu großem Druck an das Herz oder an die Brustwand angedrückt wird.

Er registriert dann, wenigstens in gewissen Phasen der Herztätigkeit, die Druckveränderungen.

Im übrigen müssen diese Instrumente wie die anderen Manometer behandelt werden. Daß die Aufhebung der Wandspannung der Gefäße zu Erscheinungen führen kann, aus denen man Rückschlüsse auf den maximalen oder minimalen oder auch mittleren Druck machen kann, liegt auf der Hand. Diese Kriterien werden ebenfalls in dem Kapitel: „Blutdruckmessung beim Menschen" besprochen.

D. Andere Kriterien für die Leistungsfähigkeit der Manometer.

Ehe die vollständige Theorie dieser Instrumente ausgebildet war, suchte man sich teilweise durch experimentelle Hilfsmittel ein Urteil über ihre Zuverlässigkeit zu verschaffen. Ich habe schon früher darauf aufmerksam gemacht, daß nur die vollständige Theorie einen sicheren Aufschluß über die Leistungen der Instrumente gibt, und daß die experimentellen Prüfungsverfahren im allgemeinen nicht zureichen, so die von Porter (1896) und von mir (1897) ausgebildeten Verfahren, ferner die vergleichenden Prüfungen verschiedener Manometer, wie sie von Tachau (1864), Ansiaux (1892), Hürthle (1893), Ludmilla Schilina (1898. 1899), Tschuewsky (1898), Hürthle (1900), derselbe mit Sachs und Riemann (1903) u. a. ausgeführt worden sind (s. a. Athanasiu 1905), ebenso wenig aber auch die Registrierung von als bekannt vorausgesetzten, aber nicht sicher bekannten Druckschwankungen (v. Kries 1878).

Wie ich schon früher erwähnt habe, sind auch vereinzelt theoretische Gesichtspunkte entwickelt worden, die aber zu einer sicheren Beurteilung der Leistungen der Manometer nicht ausreichen (vergl. Marey 1859). Einen engeren Anschluß an die Machsche Theorie haben nur v. Kries (1878) und v. Frey (1897) erstrebt. Als Beispiel eines teilweise zulänglichen Kriteriums führe ich den von Fick (1877 S. 597) aufgestellten Satz an:

„Das Ideal eines Manometers hätte nämlich vor allem die Bedingung zu erfüllen, daß aus dem Raume, in welchem der Druck gemessen werden soll, gar keine Flüssigkeit in den Raum des Manometers überzutreten brauchte, um die Kräfte wachzurufen, welche dem Drucke Gleichgewicht halten." Später hat Fick ihn bei der Konstruktion seines Luftmanometers nicht mehr konsequent verfolgt, weil er die Wirkung der trägen Masse der Flüssigkeit fürchtete (1883 S. 608), ein Beispiel dafür, wie die Konstruktionsprinzipien bei den einzelnen Autoren schwankten und schwanken mußten, weil eine konsequent ausgebildete Theorie nicht vorlag.

Hürthle hat (1888 S. 415, siehe auch S. 408) denselben Grundsatz wie Fick, aber weniger korrekt, ausgesprochen: „Dasjenige Manometer ist also das beste, welches zur Erzeugung eines bestimmten hydrostatischen Drucks den geringsten Aufwand von Arbeit erfordert und in seinen Bewegungen durch die Schreibvorrichtung nicht gestört wird". Die Konsequenz aus dem letzten Satze wäre die, daß die Manometermembran am besten durch eine starre Wand ersetzt wird.

Nur ganz kurz will ich die sogenannte Hämautographie berühren. (Landois 1872, siehe auch Ansiaux 1892.) Wenn man ein Loch in eine Arterie schneidet, so spritzt das Blut in einem Strahl heraus. Richtet man

ihn auf die bewegte Registrierfläche eines Kymographions, so wird eine Kurve aufgezeichnet. Man hat vielfach geglaubt, daß diese Kurve den wahren Druckablauf darstelle, und hat die mit Manometern aufgezeichneten Kurven durch dieses Verfahren kontrollieren wollen. Statt die mechanisch durchsichtigere Manometerregistrierung näher zu analysieren, hat man sich dem Gefühl nach auf eine sehr komplizierte und technisch unsichere Methode verlassen. Nur eine strenge Analyse der Hämautographie könnte ihr eine gewisse Sicherheit verleihen. Aber sie scheint bei dem jetzigen Stand der wissenschaftlichen Methodik durchaus unrationell.

Ich erwähne noch, daß Fick (1877 S. 600) auch schon auf den Einfluß des Querschnittes auf die Massenwirkung aufmerksam gemacht hat. Er hat diesen Grundsatz aber nicht weiter verfolgt und später wieder vergessen. Wie wenig man sich über den Einfluß der Dämpfung und ihr Verhältnis zu der Massenwirkung klar war, geht aus den Erörterungen von Hürthle (1890, S. 12ff. und 1891, S. 49) weiter aus der Abhandlung von Rolleston (1887) hervor. Nur ganz vereinzelt — unter ungenügender Begrenzung des registrierenden Systems — sind Bestimmungen der Zahl der Eigenschwingungen ausgeführt worden, so von Ludwig und Cyon (1866) für das von ihnen gebrauchte Quecksilbermanometer: (T = 0.84″).

Im übrigen kann ich nicht näher auf die Kreuz- und Querzüge eingehen, welche die Analyse der methodischen Leistungen genommen hat.

Man kann die Bedeutung dieser Bestrebungen nicht besser charakterisieren, als dies Tigerstedt in den „Ergebnissen der Physiologie“ 1909, S. 606 getan hat:

„Diese und andere Kriterien (das Fick-Hürthlesche usw.) und die sich daran anschließenden empirischen Prüfungen genügten indessen nicht, um ganz überzeugende Aufschlüsse über die Leistungsfähigkeit verschiedener Manometerkonstruktionen zu gestatten, wie dies aus der großen Mannigfaltigkeit der von den verschiedenen Autoren mitgeteilten Kurven und aus der Bestimmtheit, mit welcher jeder Autor die Zuverlässigkeit seines eigenen Instrumentes vertrat, so deutlich wie möglich hervorgeht.“

E. Anforderungen an die Leistungen der Manometer.

Wie man Manometer erhält, die eine genügend getreue Aufzeichnung der Druckschwankungen in den Gefäßsystemen ermöglichen, geht aus der Analyse ihrer Leistungen und aus Bd. I, Abt. 4 hervor.

Man hat bei genügender Empfindlichkeit der Instrumente vor allem für eine hohe Schwingungszahl zu sorgen. Das letztere erreicht man in erster Linie durch Verkleinerung der wirksamen Masse der Flüssigkeit und der reduzierten Masse des Hebels bei Hebelinstrumenten. Bei den letzteren sind möglichst kurze Hebel, eventuell Doppelhebel anzuwenden. Die Verringerung der wirksamen Masse findet ihre Grenze in derjenigen Masse, die in den Kanülen, die im allgemeinen eng sind, enthalten sein müssen. Die Röhrenverbindungen können im übrigen so weit gehalten werden, daß die in ihnen enthaltene wirksame Masse genügend klein ist. Daß auch hierfür eine Grenze besteht, wird bei der Beschreibung eines optischen Manometers von der höchsten Güte (Kap. 6) gezeigt werden. Der Endquerschnitt wird bei den optischen Manometern möglichst klein gehalten (siehe S. 23).

Elastische Verbindungen sind zu vermeiden.

Für die Hebelmanometer muß der rationelle Querschnitt gewählt werden (s. S. 24).

Werden diese Vorschriften befolgt, so ist die Güte der Manometer nicht von der Empfindlichkeit abhängig, d. h. man kann ein Venenmanometer eben so gestalten, wie ein arterielles Manometer, oder wie ein Ventrikelmanometer. Man muß nur bei den Venendruckmessungen die Empfindlichkeit vergrößern, etwa durch Verringerung der Membranspannung oder durch Erhöhung der Hebelvergrößerung usw. Die Schwingungszahl eines derartigen empfindlicheren Manometers wird dann entsprechend geringer sein als diejenige des weniger empfindlichen arteriellen oder Ventrikelmanometers.

Wie sich in den einzelnen Kapiteln zeigen wird, gelingt es so Instrumente zu bauen, welche die Druckschwankungen des tierischen Kreislaufs mit genügender Treue usw. und ohne schädigende Rückwirkung aufschreiben. Ich mache hier jedoch auf einige Punkte aufmerksam, deren Nichtbeachtung zu der großen Verwirrung in der Kreislaufliteratur geführt hat. (Siehe „Arterienpuls".) Allerdings ist ihre Wichtigkeit erst durch die Ausbildung der Theorie der Instrumente erkannt worden. Die Anforderungen an die Instrumente sind für die Registrierung des Drucks an den zentralen Stellen des Kreislaufs viel größer als für die Registrierung des Drucks in den peripheren Gefäßgebieten. Und vor allem sind sie weit größer für die Registrierung des Drucks bei kleinen Tieren als bei großen Tieren. Jedenfalls muß die Schwingungszahl des Manometers, die eben ausreicht, die Druckschwankungen bei kleinen Tieren aufzuschreiben, größer sein als bei großen Tieren.

Ansiaux 1892. Recherches critiques et expérimentales sur le sphygmographe de Chauveau-Marey et les manomètres élastiques. Travaux du laborat. de Fredericq. 4. S. 131.
Athanasiu 1905. Méthode graphique. Rapport présenté à l'Association de l'Institut Marey. Travaux de l'Association. Paris. S. 29.
Contejean 1894. Sur le rôle que les transformations adiabatiques etc. Arch. de physiol. S. 816.
Cyon und Ludwig 1866. Die Reflexe eines der sensiblen Nerven des Herzens auf die motorischen der Blutgefäße. Ber. d. sächs. Gesellsch. d. W.
Fick 1877. Ein neuer Wellenzeichner. Festschrift für Rinecker. Leipzig. Abgedruckt in Ges. Schr. 3. S. 593.
Fick 1883. Eine Verbesserung des Blutwellenzeichners. Pflügers Arch. 30. S. 597; abgedruckt in Ges. Schr. 3. S. 608.
Frank, O., 1897. Ein experimentelles Hilfsmittel für eine Kritik der Kammerdruckkurven. Ztschr. f. Biol.
Frank, O. „Kritik", „Kolbenmanometer", „Statik" und „Dynamik", „Arterienpuls".
v. Frey und Krehl 1890. Untersuchungen über den Puls. du Bois-Reymonds Arch. S. 31.
v. Frey 1893. Die Ermittlung absoluter Werte für die Leistung von Pulsschreibern. du Bois-Reymonds Arch. S. 17.
v. Frey 1893. Der Tonograph mit Luftfüllung. Zentralbl. f. Physiol. 7. S. 453.
Hürthle 1888. Beiträge zur Hämodynamik. 1. Zur Technik der Untersuchung des Blutdruckes. Pflügers Arch. 43. S. 399.
Hürthle 1890. Beiträge zur Hämodynamik. IV. Abhandlung. Pflügers Arch. XLVII, S. 1.
Hürthle 1891. Beiträge zur Hämodynamik. VI. Abhandlung. Pflügers Arch. XLIX, S. 29.
Hürthle 1893. Beiträge usw. 9. Vergleichende Prüfung der Tonographen v. Freys und Hürthles. Pflügers Arch. 55. S. 319.

Hürthle 1900. Über die Leistungen des Tonographen. Pflügers Arch. 82. S. 515.
Hürthle, Sachs und **Riemann** 1905. Vergleichung des mittleren Blutdrucks in Carotis und Cruralis. Pflügers Arch. 110 S. 421.
v. **Kries** 1878. Über die Bestimmung des Mitteldruckes durch das Quecksilbermanometer. du Bois-Reymonds Arch. S. 419.
Landois 1872. Die Lehre vom Arterienpuls. Berlin.
Marey 1859. Des causes d'erreur dans l'emploi des instruments pour mésurer la pression sanguine et les moyens de les éviter. Gaz. médicale No. 30.
Porter 1896. A new method for the study of the intra-cardial pressure curve. Journ. of exper. med. I, S. 296.
Rolleston 1887. Observations on the endo-cardial pressure. Journal of physiology VIII, S. 234.
Ludmilla Schilina 1898. Vergleich von Ludwigs Kymograph mit Hürthles Tonographen. du Bois-Reymonds Arch. S. 526. Auch Arch. des scienc. phys. et nat. VI. S. 632. Ebenso (ausführlich): 1899. Ztschr. f. Biol. XXXVIII, S. 433.
Tachau 1864. Experimentalkritik eines neuen von A. **Fick** konstruierten Pulswellenzeichners. Zürich.
Tschuewsky 1898. Vergleichende Bestimmung der Angaben des Quecksilber- und des Federmanometers in bezug auf den mittleren Blutdruck. Pflügers Arch. LXXII. S. 585.

Kapitel 5.

Das Kolbenmanometer.

A. Dynamik des Kolbenmanometers.

Unter Kolbenmanometer verstehe ich (1904) einen druckmessenden Apparat, dessen wesentlicher Teil aus einem Zylinder besteht, in dem sich ein Kolben luftdicht bewegt. Gegen diesen Kolben drückt eine Spiralfeder an, so daß die Exkursionen des Kolbens, die durch ein besonderes Hebelsystem vergrößert werden, den Druck in dem Zylinder des Instruments angeben. Die wesentliche Bedeutung einer theoretischen Behandlung dieses Instruments, das ich damals neu angegeben hatte, das aber (s. **Tigerstedt**, Ergebnisse 1909 und unten) schon früher benutzt worden war (v. **Rolleston**), liegt darin, daß sich die Beziehungen, die zwischen den Bewegungen des Kolbens samt Hebel einerseits und der in dem Röhrensystem des Manometers befindlichen Flüssigkeit andrerseits bestehen, viel leichter übersehen lassen als bei dem Hebel-Membranmanometer. Im Prinzip liegen die Verhältnisse gleich.

Darin liegt die historische Bedeutung meiner Theorie des Kolbenmanometers. Aber sie ist auch jetzt noch interessant, nachdem die Behandlung der praktisch wertvolleren Membranmanometer und schließlich die allgemeine Behandlung aller Membransysteme durchzuführen gelungen ist. Denn die Güte des Kolbenhebelmanometers ist stets größer als diejenige der Membranmanometer. Sie möglichst zu erreichen, wird das Ziel bei der Konstruktion der Membranmanometer sein.

Die Theorie des Kolbenmanometers läßt sich, wie gesagt, viel einfacher elementar entwickeln als diejenige aller anderen Manometer, sie ist aber jetzt am elegantesten auf Grund der allgemeinen Manometertheorie durchzuführen.

Danach (s. S. 8) ist die Konstante η gleich dem Elastizitätskoeffizienten der Feder des Kolbenmanometers. Die Volumübersetzung U wird $r^2\pi$. Der Volumelastizitätskoeffizient E′ ist $\eta/(r^2\pi)^2$. Die Druckempfindlichkeit der

Kolbenkapsel ist $\gamma = r^2 \pi/\eta$ und der Koeffizient Φ wird zu 1. Der rationelle Querschnitt (s. Kap. 4B) ist gleich $\sqrt{\frac{m}{M'}}$. Die Schwingungsdauer wird dann:

$$T = 6 \cdot 74 \sqrt{\gamma_r} \sqrt[4]{\mu L \cdot M'}\ ^{1)}$$

und die Güte zu:

$$G = \frac{1}{45 \cdot 4 \sqrt{L\mu \cdot M'}}.$$

Für die Schwingungsdauer und die Güte gilt dasselbe, was in Kap. 4 gesagt worden ist.

Man kann auf Grund dieser Erörterungen die maximal erreichbare Güte des Kolbenmanometers bestimmen: Für eine Hebellänge von 10 cm (bestes Material des Hebels vorausgesetzt) und eine wirksame Masse von 100 berechnet sich die Schwingungszahl eines rationell konstruierten Kolbenmanometers bei einer Empfindlichkeit von 1 cm für 100 mm Hg zu 36 (s. Frank 1904, S. 494).

Wenn auch das Kolbenmanometer trotz seiner theoretischen Vorzüge (wenn die Masse des Kolbens vernachlässigt werden kann) wahrscheinlich nicht zu allgemeiner Anwendung für die Bestimmung des Drucks im Kreislauf kommen wird, so ist die Entwicklung seiner Theorie von der allergrößten Bedeutung für die Behandlung der Hebel-Mebranmanometer gewesen.

B. Anwendungen des Kolbenmanometers.

In der Technik wird es als Bestandteil des Indikators der Dampfmaschine verwendet. Auch ist ein derartiges Instrument bereits für die Bestimmung des Drucks in dem Herzen benutzt worden, nämlich von Rolleston (1887). Das Instrument ist von Roy angegeben und mit Unterstützung von H. Darwin ausgeführt worden. Es besteht aus einem nach den Maßen der Zeichnung 1 cm weiten Messingzylinder, in dem ein Hartgummikolben von etwa 2 cm Länge wasserdicht, durch Öl eingeschmiert, gleitet. (Im Verlauf von 2—3 Stunden dringen nur wenige Tropfen Flüssigkeit an dem Kolben vorbei.) Durch die Verrückung des Kolbens wird die elastische Gegenschaft einer in eigentümlicher Weise mit ihm verbundenen Torsionsfeder geweckt. Die Bewegungen des Kolbens werden durch einen Hebel vergrößert aufgeschrieben. Leider fehlt es an jeder Angabe über die Konstanten des Instruments. Da die Röhrenverbindungen sehr kurz waren (nach der Zeichnung) und die Ventrikelkanülen, die hier entweder durch den Vorhof eingeführt oder direkt durch die Ventrikelwand oder durch die Brustwand und Ventrikelwand in den Ventrikel eingestoßen wurden, sehr weit, alles „um die Reibung zu verkleinern“ (S. 240), so dürfte die wirksame Masse der Flüssigkeit für sich nicht sehr bedeutend gewesen sein. Sie wird

1) Die Masse des Kolbens und das Gestänge wird gegenüber der reduzierten Masse des Hebels vernachlässigt.



aber stark vergrößert durch zwei längere Schlauchverbindungen. Außerdem ist die Empfindlichkeit des Instruments relativ sehr groß. Angaben über Hebellänge oder Hebelmasse sind nicht vorhanden. Danach dürfte die Eigenschwingungszahl nicht über 20 betragen haben. Aus den Ventrikeldruckkurven kann sie nicht ermittelt werden, da das anscheinend wegen großer Reibung (höchst paradox, weil die Reibung möglichst verkleinert werden sollte) des Kolbens stark gedämpfte Instrument keine offensichtlichen Eigenschwingungen bei der Aufzeichnung ausführte.

Man muß sich vorläufig eines Urteils der mit diesem Instrument aufgeschriebenen Kurven enthalten, bis exakte Aufzeichnungen vorliegen.

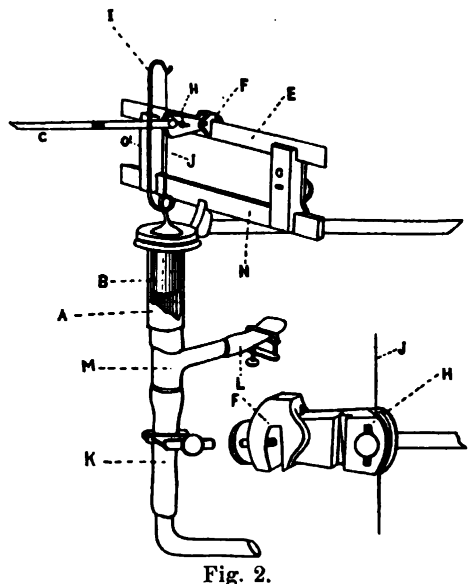


Fig. 2.
Kolbenmanometer von Rolleston.

O. Frank, 1904, Theorie des Kolbenmanometers. Ztschr. f. Biologie XLV, S. 464.
Rolleston, 1887, Observations on the endocardial pressure. Journal of physiology VIII, p. 234.

Kapitel 6.

Ein optisches Manometer von maximaler Güte. N = 180.

Spiegelmanometer sind bis jetzt, soviel ich weiß, nur von mir angegeben[1]). Ehe ich meine Bestrebungen diesen Instrumenten systematisch zuwandte, habe ich darauf hingewiesen, daß ein Manometer, dessen Membranexkursionen direkt oder durch Vermittlung einer Marke — eines Stiftes — (s. Kritik, S. 531) photographiert werden, wahrscheinlich keinen Vorzug hat vor einem solchen, bei dem die Bewegungen eines passend konstruierten mit der Membran verbundenen Spiegels photographiert werden (s. Der Puls in den Arterien, S. 469). In der letztgenannten Abhandlung habe ich ein Spiegelmanometer beschrieben, das die Schwingungszahl 104 besitzt (S. 472). Inzwischen ist es mir gelungen, die Schwingungszahl auf 180 zu erhöhen, so hoch, wie dies voraussichtlich bei einem optischen Manometer überhaupt möglich ist.

Das Manometer ist in der Zeitschrift für Biologie (1910) beschrieben. Es wird hier zunächst gezeigt, daß, um eine Konstanz seiner Leistungsfähigkeit zu erzielen, Schlauchverbindungen vermieden werden müssen. Sie wirken nach

1) Ich habe schon 1899 die Spiegelapparate, die als Teile des Herzindikators (s. unten) dienen, auf der Naturforscherversammlung zu München demonstriert. Bei dem Volumschreiber und dem Manometer war das Prinzip der „freien Achsen" verwendet. Das Manometer war ein Torsions-Federmanometer.

der Formel (9) Kap. 2 besonders ungünstig, wenn der Elastizitätskoeffizient E′ der Manometermembran sehr hoch ist. Und um die Güte der optischen Manometer zu erhöhen, kann man, wenn die wirksame Masse der Flüssigkeit auf das Minimum herabgedrückt ist, nur zu einer Erhöhung des Elastizitätskoeffizienten, d. h. korrekter zu einer Verringerung des Membranquerschnitts (s. Kap. 4) greifen. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in dem Manometersystem läßt sich nicht beliebig verringern, weil sich ihr wesentlicher und unvermeidlicher Teil in der engen Kanüle befindet. Ferner habe ich durch Berechnung und durch das Experiment nachgewiesen, daß die Ausdehnungsfähigkeit der Manometerröhren bei diesen hohen Elastizitätskoeffizienten schon zu beachten ist; vor allem aber, daß dann die Kompressibilität der Flüssigkeit eine Rolle spielt. Man darf also die Weite der Röhre nicht über ein gewisses optimales Maß gehen lassen. (S. Kap. 8. Das Optimum liegt für $E' = 150 \times 10^6$ und eine wirksame Masse = 75 bei einem Querschnitt von 1,35 cm², d. h. einem Durchmesser der Röhre von 1,3 cm.)

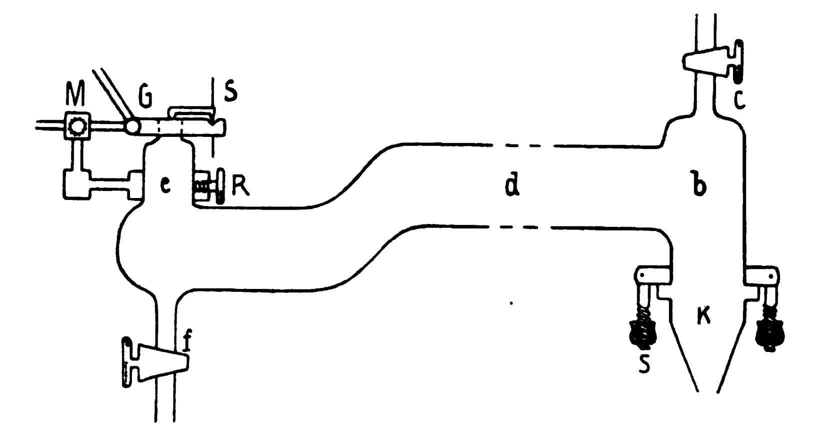


Fig. 3a.
Spiegelmanometer.

Auf Grund dieser Erwägungen kam ich zu folgender Konstruktion, deren Prüfung die Richtigkeit der Überlegungen unmittelbar bestätigte (Fig. 3a). Die Manometerröhre ist im Prinzip genau so gebildet wie bei dem früheren Spiegelmanometer („Arterienpuls" S. 473). Sie besteht aus einem senkrecht gestellten kurzen Röhrenteil b, an dessen unterem Ende sich der Metallkonus zur Verbindung mit der Kanüle befindet. Die Röhre b wird nach oben durch den Hahn c verschlossen. Diese Vorrichtung dient zur Entfernung der Luftblasen, die bei dem Anschluß der Kanüle in der Röhre b aufsteigen. Sie werden durch die Flüssigkeit, die aus einem kleinen Reservoir von der Röhre f zuströmen kann, verdrängt. An die Röhre b schließt sich das Hauptstück d an. Es geht durch einen Knick oder durch eine schief abwärts gerichtete Neigung in den senkrecht gestellten Röhrenabschnitt, der den Manometerkörper trägt, über. Der Knick oder die Neigung der Röhre d soll ermöglichen, daß die Röhre e bei längerem Gebrauch des

Manometers mit Flüssigkeit gefüllt bleibt, ohne daß Luftblasen eindringen können. Auf den verschmälerten Kopf von e ist die enge Manometerkapsel aufgekittet. Sie ist mit der Gummimembran luftblasenfrei überbunden. Das Eindringen von Luftblasen bei dem Aufbinden der Membran vermeidet man sehr einfach dadurch, daß die Röhre e bis zum obersten Rand mit Flüssigkeit gefüllt wird, so daß ein konvexer Meniskus entsteht. Über ihn kann man die Membran, ohne daß Luftblasen dazwischen treten, leicht aufbinden.

Die Röhre e trägt, um ihre senkrechte Achse drehbar, ein Gestänge, an dem die Gabel G befestigt ist. In die eine ihrer Zinken ist eine keilförmige Vertiefung, in die andere ein Konus zur Lagerung der Spitzen des Spiegelgestells S eingestanzt. Die Gabel kann um eine horizontale Achse gedreht werden, wodurch die Nullstellung des Spiegels und des von ihm reflektierten Lichtstrahls in der Höhe verändert werden kann.

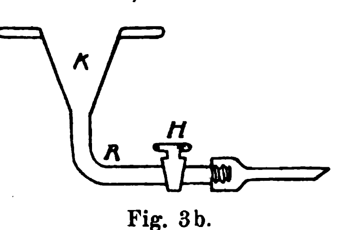


Fig. 3b.

Die Kanüle und ihre konische Dichtung an den Manometerkörper ist folgendermaßen (s. Fig. 3b) konstruiert.

In die Röhre b des Manometerkörpers ist ein nach unten verlaufender Metallkonus K eingekittet. An ihn kann luft- und wasserdicht der Konus K der Kanüle angeschlossen werden. Das Zusammenpressen der beiden Konusse wird durch zwei Schrauben S bewirkt, die von einem Ring herabhängen. Der Ring dreht sich über einen Vorsprung des Konus der Manometerröhre. Durch diese Vorrichtung wird erreicht, daß die Kanüle im beliebigen Winkel um die Achse des Konus gedreht werden kann. Die Schraubenmuttern pressen gegen einen Vorsprung des Kanülenkonus. Dieser Vorsprung hat zwei diametral gegenüberstehende Schlitze, in welche die Schrauben von außen eingelegt werden können. Der Kanülenkonus geht in eine nach Bedarf gebogene Röhre R über, die durch einen Hahn H verschlossen werden kann. Auf der andern Seite des Hahns befindet sich ein Röhrenstück, an das wiederum die eigentliche Kanüle konisch angedichtet werden kann. Alle Verbindungen sind so gestaltet, daß im Innern keine Vorsprünge entstehen, an denen Luftblasen haften könnten.

Die Dimensionen des Systems sind folgende:

Lumen der Manometerröhre 1,55 cm weit; Höhe des Manometerkonus 1,1; untere Öffnung 0,6 weit; Länge der Röhre b bis zur Biegung 5,5; Länge der Hauptröhre b bis zur Biegung unterhalb e 31; Höhe des Röhrenstücks e 1,5; Durchmesser 0,5; Höhe der Kapsel 0,35; Weite 0,3 cm.

Dimensionen der Kanüle:

Durchmesser der Röhre R 0,5 cm (Lumen durch die ganze Röhre und die Hahnbohrung gleich); Länge der eigentlichen Kanüle in dem speziellen Fall 3,5 cm; Lumen 0,3 cm.

Der Durchmesser des 0,2 mm dicken Spiegels beträgt 1 cm. Sein Gestell hat die früher beschriebene Gestalt[1]). Es besteht aus Aluminium, die Hebellänge ist 1 cm. Das auf die Membran aufgeklebte Glasplättchen hat einen Durchmesser von gut 2 mm und ist knapp 0,2 mm dick.

1) Konstruktion und Durchrechnung von Registrierspiegeln. Ztschr. f. Biologie Bd. 46. S. 433. (s. Bd. I, 4)

Die wesentlichen Konstanten des Apparats sind:

1. die wirksame Masse M′ der Flüssigkeit (für Wasser). Sie setzt sich zusammen aus der wirksamen Masse der Manometerkapsel = 5,0, des Röhrenteils e = 7,2, der Röhre d = 19,3 und des Konus = 1,5, in Summa M′ der Manometerröhre 33,0, ferner der Masse der Röhre r = 25,5 und der Kanüle = 49,5. Danach beträgt die wirksame Masse der gesamten Flüssigkeit 108.

2. Die reduzierte Masse des Spiegelsystems m. Sie ist nach der Tabelle Bd. I, 4 Kap. „Spiegel" auf höchstens 0,02 zu schätzen.

3. Der Elastizitätskoeffizient E′ der Kapsel. Sie war mit einer Membran von 0,25 mm Dicke bespannt. Der Elastizitätskoeffizient berechnet sich daher nach der Tabelle 2 S. 18 für die „Normalspannung" bei 0,3 cm Weite zu rund 150 Millionen. Die Rückwirkung ist entsprechend dem hohen E′ nur sehr gering: V für 100 mm Hg nur 0,9 cmm.

4. Die Empfindlichkeit. Sie betrug bei einer 200fachen Vergrößerung 2 cm für 100 mm Hg.

Mit diesem Manometer und der beschriebenen Kanüle erhielt ich in wiederholten Versuchen eine konstante Schwingungszahl von rund 180, die mit der aus M′ und E′ berechneten genügend übereinstimmt. (Ab Dezember 07 bestimmt. Versuchsreihe 37.) Die Vorrichtung funktioniert technisch so vorzüglich, daß auch bei wiederholtem Lösen des Konus und bei verschiedenen Blutdruckversuchen dieselbe Schwingungszahl resultierte. Die gewünschte Konstanz von T ist also erzielt.

Man kann nun leicht den Beweis erbringen, daß auch ein Manometer, bei dem die Exkursionen der Membran rein optisch ohne Hinzutreten von Massen, etwa durch Photographieren der Silhouette der Membran oder des Endes eines auf die Membran aufgeklebten Stifts (eines „Stiftmanometers", s. Kritik S. 552), festgestellt werden, keine prinzipiellen Vorzüge vor dem Spiegelmanometer hat, denn die Schwingungszahl des Spiegel-Membransystems beträgt über 700. (Aus der Tabelle S. 18 berechnet.) Nach der Tabelle IV S. 352 der „Dynamik" verringert hier, wo die Schwingungszahl des Spiegels rund viermal höher ist als diejenige des Membranflüssigkeitssystems, das Hinzutreten des Spiegels die Schwingungszahl nur um 3 %. Selbst wenn der Hebelarm auf 0,5 cm verkürzt wird, wodurch eine 400fache Vergrößerung erzielt wird, besitzt das Spiegelmembransystem noch eine Schwingungszahl von 400. Die Masse des Spiegels drückt dann die Schwingungszahl um höchstens 10 % herab.

Damit ist der wichtige Nachweis geliefert, daß das Spiegelmanometer, das so große technische Vorzüge vor den im strengen Sinn optischen Manometern hat, d. h. solchen, bei denen die Exkursionen der Flüssigkeit ohne Hinzutreten von Massen registriert werden, prinzipiell theoretisch seiner Güte nach nicht hinter diesen zurücksteht. Es konzentriert sich die ganze Frage einer weiteren möglichen Verbesserung der Manometer darauf, zu entscheiden, ob die Leistungsfähigkeit eines rein optischen Manometers noch weiter erhöht werden kann. Man kann dies als ausgeschlossen betrachten. Sie könnte nur durch Vergrößerung des Elastizitätskoeffizienten des Systems erfolgen, und dies ist unmöglich. Man kann wohl leicht den Elastizitätskoeffizienten der Membran erhöhen, oder man kann zur Registrie-

rung die Kompression einer in eine Kapillare eingeschlossenen Luftblase benutzen, wie dies von Bayliss und Starling 1894 bei ihrem interessanten Verfahren geschehen ist. (Ich habe das E', das bei ihrem Manometer wirkte, zu 4000 Millionen berechnet, „Kritik“ S. 577.) Aber dies hat gar keinen Nutzen, denn der Vorteil des hohen Elastizitätskoeffizienten[1]) wird durch die Kompressibilität irgendeines Teils des Systems zunichte gemacht. Ich habe schon hervorgehoben, daß, wenn man zu höheren Elastizitätskoeffizienten schreiten will, schon bald die Ausdehnungsfähigkeit des aus Metall oder Glas gebildeten Röhrensystems in Betracht kommt. Ferner, daß die Kompressibilität der Flüssigkeit eine Rolle zu spielen beginnt, und zum Schluß muß man beachten, daß in diesen Fällen schon minimale Luftblasen eine Kompressibilität erzeugen, welche die Anwendung von so hohen Elastizitätskoeffizienten vollständig illusorisch macht. Tatsächlich stand das von Bayliss und Starling angewandte spezielle Modell weit an Güte hinter dem von mir beschriebenen zurück. Ich ziehe also den Schluß, daß die Leistungen des von mir konstruierten Manometers durch keine andere Konstruktion wesentlich überboten werden. Die Bestrebungen zur Verbesserung der Manometer sind an ihrem Ende angelangt. Versuche in dieser Richtung anzustellen, erscheint aber auch vorläufig schon deshalb unnötig, da mit diesem Manometer die Druckschwankungen auch in den zentralen Teilen des Kreislaufs ohne Korrekturen aufgeschrieben werden können.

Bayliss u. Starling, On the form of the intraventricular and aortic pressure curve obtained by a new method. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. XI, S. 426, 1894.

O. Frank 1910, Ein neues Spiegelmanometer. Ztschr. f. Biol. Bd. 53.

Kapitel 7.

Die Hebelmembranmanometer.

A. Dynamik des Hebelmanometers.

Die Dauer einer Eigenschwingung eines solchen Manometers wird berechnet auf Grund des allgemeinen Prinzips

$$T = \sqrt{T_1^{\,2} + T_2^{\,2}}$$

(s. Gleichung (1), S. 312 der Dynamik u. Kap. 4 S. 24). Sie ergibt sich zu:

$$2\pi \sqrt{\frac{\gamma_r}{v}} \sqrt{\frac{\frac{M' r^2 (1+\delta^2)\pi}{2} + 2 m l \left(\frac{1}{\delta}\right)}{r^2 \pi (1-\delta^2)}} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

(s. Gleichung (12) u. (13), S. 316 Dynamik).

1) Theoretisch hat das geschlossene Flüssigkeitsmanometer von Bayliss und Starling überhaupt keinen Vorzug vor dem Membranmanometer; im Gegenteil ist die Güte dieses letzteren als rein optisches konstruiert höher, denn die Güte der rein optischen Manometer ist gleich $\frac{v}{M'U}$, d. h. umgekehrt proportional der Volumübersetzung U, Kap. 4. Die Volumübersetzung ist bei dem geschlossenen Luftmanometer $= r^2\pi$, bei dem reinen Membranmanometer ohne Platte $= r^2\pi/2$. Der Endquerschnitt der eigentlichen Manometerkapsel könnte leicht noch wesentlich kleiner als bei dem beschriebenen Spiegelmanometer gemacht werden.

Der rationelle Querschnitt beträgt (s. Kap. 4 B):

$$Q = \sqrt{\frac{\frac{m}{M'} \cdot 4\, l\left(\frac{1}{\delta}\right)}{1-\delta^4}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

(s. Gleichung (16), S. 317 Dynamik).

Wird dieser Querschnitt gewählt, so ergibt sich das minimale T zu

$$T_{min} = 2\pi \sqrt{2\gamma_r/v} \sqrt[4]{m M' \varphi} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

(s. Gleichung (17), S. 318 d. Dynamik).

Vergleicht man diese Formel mit der entsprechenden für das Kolbenmanometer, so sieht man, daß die minimale Schwingungsdauer des Hebelmanometers etwas größer als diejenige des idealen Kolbenmanometers ist, oder daß die Güte um den Faktor

$$\sqrt{\frac{1-\delta^2}{(1+\delta^2)\, l\left(\frac{1}{\delta}\right)}} = \sqrt{\frac{1}{\varphi}} \quad \text{(s. Gl. (11) S. 16)} \qquad (4)$$

hinter derjenigen des Kolbenmanometers zurücksteht.

Ferner ist aus der obigen Beziehung zu entnehmen, daß der günstigste Radius für die Trommel des Hebelmanometers um den Faktor

$$\sqrt[4]{\frac{4\, l\left(\frac{1}{\delta}\right)}{(1-\delta^4)}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

größer als bei dem Kolbenmanometer ist.

Die Güte des Instrumentes ist bei rationell gewähltem Querschnitt nicht mehr von der Empfindlichkeit oder der Spannung der Membran abhängig, ist also bei gleicher Masse des Hebels und wirksamer Masse der Flüssigkeit für ein Venen- oder Arterienmanometer gleich. (S. Kap. 4 B. Manometer.)

Mit dieser Analyse ist die Grundlage für die rationelle Konstruktion der Manometer gegeben.

B. Anwendungen der Membranmanometer mit Hebelregistrierung.

Die einfachen Membranmanometer, insbesondere die Gummimanometer mit Hebelregistrierung eignen sich vor allem für solche Versuchsreihen, bei denen Instrumente von stark wechselnder Empfindlichkeit angewendet werden sollen. Wenn hierbei die wirksamen Massen der Flüssigkeit nicht allzusehr verschieden sind (etwa durch verschieden weite und lange Kanüle hervorgerufen), ändert man die Empfindlichkeit am besten durch Veränderung der Spannung bzw. der Dicke der Gummimembran, da die Güte nicht von der Empfindlichkeit, sondern nur von den Massen des Systems abhängt, wenn der rationelle Querschnitt gewählt ist (s. Formel (2)). Die Güte läßt sich, wenn eine Empfindlichkeit von 1 cm Ausschlag für 100 mm Hg. erreicht wird, so weit steigern, daß die Schwingungszahl etwa 30/Sek. bei einer Hebellänge von 10 cm beträgt (Theorie des Kolbenmanometers S. 474). Wird eine größere Empfindlichkeit verlangt, so reduziert sich die Schwingungszahl entsprechend. Bei kürzerer Hebellänge kann eine größere Schwingungszahl, wie bei dem in dem nächsten Kapitel behandelten Federmanometer nachge-

wiesen wird, erreicht werden. Die Güte des reinen Membranmanometers ist stets etwas größer als diejenige des Federmanometers (und etwas geringer als diejenige des idealen Kolbenmanometers).

Das Membranmanometer hat gegenüber dem idealen Kolbenmanometer und dem richtig konstruierten Federmanometer den Nachteil, daß es wegen der Inkonstanz der Gummielastizität (Nachdehnung) häufig geeicht werden muß und daß die Eichungen aus demselben Grund unsicher sind. Man hat deshalb (Cowl, Gad, v. Frey s. Kap. 16) die Gummimembran durch eine Metallmembran ersetzt. Diese Manometer sind bis jetzt noch nicht nach den Grundsätzen der Theorie geprüft. Daß sie voraussichtlich an Güte hinter den Gummimembranmanometern zurückstehen, wird in dem nächsten Kapitel erörtert.

Konstruktionen von reinen Gummimembranmanometern mit Übertragung durch inkompressible Flüssigkeit sind von Hürthle (1888) veröffentlicht worden. Auch ich habe sie bei vielen Untersuchungen angewendet. Daß die tatsächliche Güte dieser Instrumente bis jetzt wesentlich hinter der erreichbaren zurückstand, habe ich in der Abhandlung „Arterienpuls" plausibel zu machen versucht (s. Kap. 10). Hürthle hat an seinem Instrument einen sinnreich konstruierten Abszissenschreiber angebracht.

Er hat ferner später (1890 ff.) sein Instrument stark gedämpft und glaubte hierdurch die Wirkung der Eigenschwingungen des Instrumentes aufzuheben. (Daß dies nicht möglich ist, geht aus Bd. I, 4 und Kap. 4 hervor.)

Um eine gleichmäßige Spannung der Gummimembran zu erreichen, hat Hürthle eine komplizierte Vorrichtung angegeben, die er aber später (1890) durch ein einfaches Verfahren: Aufzeichnung von kreisförmigen Ringen ersetzt hat (s. S. 17).

Von Ishihara (1903) ist ein von F. Schenck angegebener „für Unterrichtszwecke vereinfachter Gummitonograph" beschrieben worden.

O. Frank. „Dynamik" S. 316.
Hürthle 1888. Beiträge zur Hämodynamik. 1. Zur Technik der Untersuchung des Blutdrucks. Pflügers Arch. 43, S. 399.
Ishihara 1903. Über einen für Unterrichtszwecke vereinfachten Gummitonographen. Pflügers Arch. 97, S. 429.

Kapitel 8.

Das Federmanometer.

(Hebelinstrument und optisches Instrument.)

A. Theorie.

Nicht so einfach, aber ebenso vollständig wie das Membranhebelmanometer läßt sich das praktisch äußerst wichtige Federmanometer behandeln. Ein derartiges Instrument ist zuerst von Fick unter dem Namen Flachfedermanometer angegeben worden. Das Manometer, das hier behandelt werden soll, stimmt im Prinzip mit dem Fickschen überein, d. h. die hauptsächliche Druckwirkung erfolgt bei ihm auf eine mit der den Kapselraum des Manometers abschließenden dünnen Gummimembran verklebte Platte (s. Fig. 5

S. 48). Gegen diese Platte drückt eine Feder, deren Exkursionen durch einen Hebel vergrößert aufgeschrieben werden. Die elastische Kraft der Feder kann durch Torsion oder durch Biegung erzeugt sein. Für die theoretische Behandlung des Instrumentes ist es gleichgültig, welche Beanspruchung gewählt wird.

Auch das Hohlfedermanometer läßt sich theoretisch behandeln. Seine maximale Leistungsfähigkeit dürfte aber stets hinter derjenigen des Flachfedermanometers zurückbleiben, vor allen Dingen deshalb, weil seine wirksame Masse wegen der Enge des Hohlraums groß werden muß (s. Kap. 10).

Wenn E den Modul, Biegungs- oder Torsionsmodul, der Feder, f den Ausschlag der Platte bedeutet, so wird die Empfindlichkeit zu:

$$\frac{f}{p} = \gamma_0 = \frac{r^2(1-\delta^2)\pi}{4S\pi + 2El\left(\frac{1}{\delta}\right)}$$

(Gl. 19 S. 319 d. „Dynamik").

Bei der Konstruktion des Federmanometers verfolgt man die Absicht, die wechselnde und unvollkommene Elastizität des Kautschuks der Membranmanometer durch die Elastizität von Metallen zu ersetzen. Die Kautschukmembran des Federmanometers soll eigentlich nur zur Abdichtung dienen. Im extremen Fall wird dann das Federmanometer mit dem idealen Kolbenmanometer prinzipiell identisch. Die Abdichtung der Platte durch die Gummimembran setzt die Güte des Federmanometers unter diejenige des Kolbenmanometers herab, wie aus den folgenden Formeln hervorgeht.

Um ziffermäßig den Anteil der Gummielastizität an den Leistungen des Federmanometers festzustellen, führe ich das Verhältnis n ein, das den Anteil der Gummielastizität an der Empfindlichkeit des Federmanometers ausdrückt. Es ist nach der Formel für die Empfindlichkeit sinngemäß durch folgende Beziehung definiert (s. d. vorhergehende Formel).

$$S = \frac{nEl\left(\frac{1}{\delta}\right)}{2\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

(Gl. 20. S. 320 d. Dynamik).

Setzt man diesen Wert für S in die Formel für die Empfindlichkeit ein, so erhält man den wichtigen Ausdruck

$$\frac{f}{p} = \gamma_0 = \frac{r^2(1-\delta^2)\pi}{2El\left(\frac{1}{\delta}\right)(1+n)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

(Gl. 21 d. Dynamik).

Über die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von δ sind die Überlegungen S. 320 der Dynamik zu vergleichen.

Der Elastizitätskoeffizient E' ergibt sich zu

$$E' = \frac{4E\varphi^2(1+n)n}{r^4\pi^2(1+\delta^2)^2(\varphi+n\varphi-1)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

(Gl. 25 der Dynamik).

Die Größe φ siehe Kap. 3 (11)

Der Elastizitätskoeffizient η wird zu:

$$\eta = (1+n)E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

(Gl. 27 der Dynamik).



Nach Kap. 2 S. 8 ist

$$\frac{U^2 E'}{\eta} = \Phi = \frac{\varphi + n\varphi - 1}{n} \qquad (4a)$$

Die Schwingungszeit für das Federmanometer wird zu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M'}{E'} + \frac{m}{E(1+n)}} \qquad (5)$$

(Gl. 28 der Dynamik).

Für einen bestimmten Querschnitt wird T wie bei dem Kolben- und dem Hebelmanometer zu einem Minimum. Nach einer entsprechenden Umformung der letzten Formel ergibt sich dieser rationelle Querschnitt durch Differentiation zu:

$$Q = \sqrt{\frac{m}{M'} \cdot F_1} \qquad (6)$$

(Gl. 30 der Dynamik).

Es ist also derselbe Wert wie bei dem Kolbenmanometer nur mit einem Faktor F multipliziert. Seine Größe hängt von n und δ in komplizierter Weise ab. Eine Reihe wichtiger Werte dieses Faktors findet sich in der Tabelle 2 am Schlusse der zitierten Abhandlung zusammengestellt.

$$F_1 = \frac{2\varphi}{1+\delta^2} \sqrt{\frac{n}{\varphi + n\varphi - 1}} = \frac{2\varphi}{1+\delta^2} \sqrt{\frac{1}{\Phi}} \qquad (6a)$$

Die minimale Schwingungsdauer wird für einen derartigen rationellen Querschnitt

$$T\,min = 2\pi \sqrt{2\gamma_r/v}\, \sqrt[4]{m\,M'\,\Phi} \qquad (7)$$

(Gl. 31 der Dynamik).

Der Wert für die Schwingungsdauer ist ebenso wie bei dem Hebelmembranmanometer bis auf die vierte Wurzel eines Faktors $\Phi = \frac{U^2 E'}{\eta}$ der Schwingungsdauer des Kolbenmanometers gleich. Die Werte für diesen Faktor sind in der Tabelle 3 der Dynamik zusammengestellt. Man sieht aus ihr, daß, je mehr man die Gummielastizität gegenüber derjenigen der Feder zurücktreten läßt, um so länger unter sonst gleichen Verhältnissen die Schwingungsdauer wird. In demselben Verhältnis bleibt die Güte des Federmanometers hinter derjenigen des reinen Membranmanometers zurück. Wie sich in dem folgenden ergeben wird, steht die Güte des Federmanometers bei rationeller Konstruktion nicht sehr weit hinter derjenigen des Membranhebelmanometers zurück, im Gegenteil wird sich zeigen, daß man nach seinem Prinzip die beste Konstruktion eines Blutdruckmanometers entwerfen kann. Seine Leistungen werden wesentlich nur von dem optischen Manometer übertroffen, dessen Verwendbarkeit aber immerhin gegenüber der Hebelregistrierung beschränkt ist.

Die Güte des Federmanometers für die rationell gewählte Volumübersetzung oder den rationellen Querschnitt wird:

$$G = \frac{v}{8\pi^2 \sqrt{m\,M'\,\Phi}} = \frac{1}{45{\cdot}4 \sqrt{L\,\mu\,M'\,\Phi}} \qquad (8)$$

Wie ich im Kap. 6 S. 31 erwähnt habe, ist das zuerst konstruierte optische Manometer ein Torsionsfedermanometer gewesen, das aber vor der Entwicklung der Theorie konstruiert worden war. Es ist natürlich jetzt leicht möglich, ein derartiges Instrument auf Grund der Theorie zu bauen. Ich glaube aber kaum, daß sich seine Ausführung als vorteilhaft erweisen wird. Seine Güte steht unter allen Umständen hinter derjenigen des Membranspiegelmanometers zurück. Die letztere Konstruktion erlaubt eine viel bessere Adaptierung an die Forderungen der Theorie. Ein optisches Manometer wird immer nur zu ganz bestimmten Zwecken angewandt werden. Dann spielt aber eine besondere Eichung des Instrumentes keine Rolle.

B. Vorzüge des Federmanometers.

Von J. Petter und mir ist ein Federmanometer mit Hebelschreibung konstruiert worden, dessen Konstruktion der entwickelten Theorie folgt.

Ein für gewöhnliche Blutdruckversuche bestimmtes Instrument sollte eine möglichst konstante leicht bestimmt herstellbare Empfindlichkeit erhalten, so daß es nur zu genaueren Bestimmungen geeicht zu werden braucht.

Diese Bedingung wird von den Metallmembranmanometern, wie sie von Gad und Cowl zuerst angewandt worden sind, angenähert erfüllt. Gegen den Ausbau dieses Manometertypus sprechen aber gewichtige Bedenken. Die Metallmembran, die hauptsächlich auf Biegung beansprucht wird, muß gewellt hergestellt werden, damit die nötige Empfindlichkeit erreicht wird. Auch dann muß die Fläche der Metallmembran aus demselben Grunde noch relativ groß sein. Beide Momente bedingen einen niedrigen Elastizitätskoeffizienten E'. Ferner: Die Massenwirkung des Hebels wird bei den Membraninstrumenten wesentlich durch die starre Platte verringert, die im Zentrum der Membran angebracht wird. Dies ist bei den Metallmembranmanometern unmöglich, weil die Empfindlichkeit zu sehr herabgesetzt würde. Und zum Schluß ist der Ausschlag des Instrumentes dem einwirkenden Druck nicht proportional (Jaquet 1908), vermutlich, weil die Wellung bei steigenden Drucken nach und nach aufgehoben wird und die Membran in eine andere Form übergeht. Die Verwendung dieses Materials schränkt also die Konstruktionsmöglichkeiten so außerordentlich ein, daß die höchste Güte der Instrumente nicht erreicht werden kann.

Auf der anderen Seite besitzen die reinen Gummimanometer, bei denen der einwirkende Druck aus der Deformation einer Gummimembran bestimmt wird, selbstverständlich eine starke Inkonstanz der Empfindlichkeit, die teilweise durch das Material bedingt ist, aber auch davon herrührt, daß es ganz unmöglich ist, der Membran jedesmal die gleiche Spannung zu erteilen. Sie müssen also stets geeicht werden. Außerdem dehnt der Gummi in hohem Maße nach. Im übrigen gestattet das Material eine beliebige Wahl der Konstanten. Seine Güte ist, abgesehen von dem idealen Kolbenmanometer, die höchst erreichbare, höher als diejenige des Manometertypus, den wir gewählt haben und jetzt beschreiben.

Aus diesen Gründen haben wir uns für einen Federmanometer von dem Typus des Fickschen Flachfedermanometers entschieden.

C. Wahl der Konstanten.

Bei der Konstruktion des Federmanometers verfolgt man die Absicht, die wechselnde und unvollkommene Elastizität des Kautschuks der Membranmanometer durch die Elastizität von Metallen zu ersetzen. Die Gummimembran des Federmanometers soll eigentlich nur zur Abdichtung dienen (s. oben S. 38), d. h. sie soll für die Empfindlichkeit nicht wesentlich in Betracht kommen. Man müßte sie eigentlich so dünn wie möglich wählen, wenn nicht dadurch die Güte des Instruments geschädigt würde (s. oben S. 39). Man muß daher ein Kompromiß eingehen. Setzt man fest, daß der Anteil der Feder an der Empfindlichkeit 90 % und derjenige der Gummimembran 10 % beträgt, so ist die Inkonstanz der Empfindlichkeit vollständig aufgehoben: denn, wenn man nur die Dicke der Gummimembran entsprechend dieser Bedingung auswählt, kann man es leicht erreichen, daß sie bis auf 10 % Abweichung immer dieselbe Spannung erlangt (s. S. 17). Dann ist aber die Inkonstanz auf den zehnten Teil von 10 %, d. h. auf 1 % herabgedrückt. Die Güte wird nur unwesentlich verringert, vorausgesetzt, daß das Verhältnis des Plattendurchmessers zu dem Kapseldurchmesser genügend groß ist. Wir haben für dieses δ: 0,8 gewählt. Ein größeres macht zu starke Deformationen der Membran notwendig. Eine weitere Herabsetzung des Anteils der Membran an der Empfindlichkeit führt zu einer starken Verminderung der Güte (s. oben S. 39).

Die Güte des Instrumentes ist nach Formel (8) der Theorie nach diesen Festsetzungen nur noch von der wirksamen Masse der Flüssigkeit und der Masse des Hebels ($L\mu$) abhängig, wenn der Hebel in seiner ganzen Länge die spezifische Masse μ hat. Die wirksame Masse der Flüssigkeit kann, weil sich ihr Hauptteil in der Kanüle befindet, nicht unter ein gewisses bestimmtes Maß herabgedrückt werden. Die Momente, die für ihre Größe bedeutungsvoll sind, sind in Kap. 2 erörtert worden. Wir nehmen die Gesamtmasse zu rund 100 an.

Die Masse des Hebels ist proportional seiner Länge. Der Hebel muß so kurz wie möglich genommen werden (s. Bd. I, 4). Um mit einem so kurzen Hebel die nötige Empfindlichkeit ohne zu starke Exkursionen der Membranplatte zu erreichen, muß die Hebelvergrößerung sehr stark gewählt werden. In unserem Falle (s. unten) zu etwa 100fach. Wie von dem einen von uns (Petter) gezeigt worden ist, kann man die technischen Schwierigkeiten einer derartigen Bedingung durch Anwendung eines Doppelhebels umgehen, ohne daß die reduzierte Masse dieses Systems wesentlich größer als diejenige des einfachen Hebels würde (s. Bd. I, 4). Bei der Konstruktion dieses Doppelhebels kamen uns die Erfahrungen, die wir bei der Ausbildung der ähnlichen Konstruktion unseres Sphygmographen gemacht hatten, sehr zu statten und ersparten uns mühevolle Experimente.

Nach diesen Ausführungen bestimmt die Länge des Hebels die Konstruktion des ganzen Systems. Je kürzer die Hebellänge ist, um so störender wird die Registrierung der Ordinaten als Kreisbögen. Man wird nicht unter eine Hebellänge von 5 cm herabgehen. Bei einer Exkursion der Schreibspitze von 3 cm, wie sie bei Blutdruckbestimmungen vorkommen, tritt dann freilich die Bogennatur der Ordinaten schon deutlich hervor.

Durch Anbringen von Zeitmarken oder Konstruktion eines geeigneten Talons kann man diesen Übelstand so weit vermindern, daß er nicht mehr störend wirkt. Jedenfalls wird man den Vorteil einer kurzen Hebellänge deshalb nicht aufgeben wollen.

Einem solchen kurzen Hebel kann man, wie gesagt, eine sehr geringe mittlere Masse geben, ohne daß dynamische Durchbiegungen (Erzitterungen) stören würden (s. Bd. I, 4). Wir haben einen Hebel gewählt, der nur 0,002 mg Masse pro Zentimeter Länge besitzt. Setzt man nun als normale Empfindlichkeit fest: 1 cm Ausschlag für 100 mm Quecksilber, so sind alle Größen des Instruments gemäß der Theorie bestimmt, wenn der rationelle Radius für die Größe der Membran gewählt wird (s. S. 24 u. S. 39).

Sämtliche Manometer mit diesen Konstanten besitzen die nämliche Schwingungszahl und den gleichen Volumelastizitätskoeffizienten E′.

Wenn die Hebellänge $L = 5{,}0$, die spezifische Masse $\mu = 0{,}002/\text{cm}$, γ_r die Empfindlichkeit $= 7{,}5 \times 10^{-6}$, d. h. 1 cm Ausschlag für 100 mm Hg, n d. h. der Anteil der Gummimembran an der Empfindlichkeit $= 0{,}1$, δ das Verhältnis des Plattenradius zum Membranradius $= 0{,}8$ und die wirksame Masse $M' = 100$ ist, wird T nach der Formel (7)

$$T = 6{,}74 \sqrt{\gamma_r} \sqrt[4]{L\,\mu\,M'}\;\Phi = \frac{1}{51{,}7}$$

und

$$E' = \frac{8\pi^2 M'}{T^2} = 21{,}3 \times 10^6$$

(s. Formel (31) der „Dynamik“).

Die übrigen Konstanten berechnen sich bei gegebenem Trommelradius nach folgenden Beziehungen

$$v = r^2\pi \sqrt{\frac{3M'}{L\,\mu\,F_4}}; \qquad E = \frac{(r^2\pi)^2 E'}{F_1(1+n)} =$$

Elastizitätskoeffizient der Feder; für die Spannung oder Dicke der Membran

$$S = \frac{n\,E\,l\left(\frac{1}{\delta}\right)}{2\pi}.$$

Wir haben in einer Tabelle der Abhandlung (1910) die Größen dieser Konstanten zusammengestellt, die sich ergeben, wenn man dem Radius die in der ersten Spalte angegebenen Werte beilegt.

Aus diesen Typen kann man die technisch am besten auszuführende auswählen (s. S. 25). Die Vergrößerung v wird man nicht zu stark nehmen dürfen, weil sonst die kurzen Hebelarme zu klein werden. Die Spannung der Membran wird ebenfalls nicht zu groß sein dürfen. Wir haben uns entschieden, der Trommel einen Durchmesser von 0,9, genauer 0,89 cm, zu geben (Typus 3 der Tabelle). Die Dicke der Membran muß dann, um die geforderte Spannung zu erhalten, (s. S. 18) 0,2 mm betragen. Die Vergrößerung wird 93,5, sie läßt sich, wie jetzt gezeigt wird, leicht bewerkstelligen.

Die Güte des Instrumentes hängt im übrigen nicht davon ab, wie die Empfindlichkeit erzielt wird, ob durch Vergrößerung der Membranexkursion

oder durch Erhöhung der Hebelvergrößerung, sobald man nur für den Durchmesser der Membran den optimalen wählt (s. S. 25).

Wie oben S. 38 gezeigt worden ist, ist es für die theoretischen Eigenschaften des Systems ganz gleichgültig, ob man die elastische Kraft der Feder durch Torsion oder Biegung erzeugt. Da es ziemlich große Schwierigkeiten macht, eine Torsionsfeder durch Lötung gut zu fixieren, da außerdem die Federkraft einer Torsionsfeder aus den Dimensionen sich nicht so genau abmessen läßt, da ferner nach unseren Versuchen eine kaum vermeidliche Beanspruchung der Torsionsfeder auf Biegung stattfindet und die Verbindung des von der Feder ausgehenden Hebels mit der Platte Schwierigkeiten bereitet, haben wir eine Flachfeder gewählt, ähnlich wie bei dem Fickschen Flachfedermanometer.

Da der kurze Hebelarm des ersten Hebels wegen der notwendigen Vergrößerung sehr kurz sein muß, würde die Feder nur kurz sein dürfen und die ganze Konstruktion zu sehr zusammengedrängt werden, wenn man nicht eine besondere Konstruktion der Feder vornehmen würde (s. Fig. 4a). Die Flachfeder ist nämlich an der einen Seite festgeklemmt und schlägt gegen einen in einer gewissen Entfernung von dieser Stelle befindlichen Anschlag.

Die ideale Achse, um die sich die Feder bei der Biegung dreht, läßt sich nach folgenden Formeln (Frank) bestimmen.

Die Erhebung am Ende der Feder f ist:

$$f = -\frac{P(4a^3 + 3a^2 b)}{12 E \Theta}.$$

Der Erhebungswinkel des Federendes:

$$\tan\alpha = \frac{-P(2a^2 + ab)}{4 E \Theta}.$$

Die fingierte Achse, um die sich die Feder bei der Biegung dreht, liegt bei

$$x = \frac{f}{\tan\alpha} = \frac{4a^2 + 3ab}{3(2a + b)}$$

(Länge der freien Feder $= a + b$, Entfernung des Anschlags von der Einklemmung $= b$, $\Theta =$ das Trägheitsmoment des Federquerschnittes, $P =$ am Ende der Feder wirkende biegende Kraft, $f =$ Exkursionen an dieser Stelle).

D. Vorausberechnung der Leistungen des projektierten Federmanometers.

Nach dem oben Gesagten besitzt das projektierte Federmanometer eine Empfindlichkeit von 1 cm Ausschlag für 100 mm Quecksilber. Die Schwingungszahl beläuft sich auf 51,7 in der Sekunde.

Die Güte wird nach der Formel (8) berechnet. Danach steht sie um 9 % hinter derjenigen eines Kolbenmanometers, das dieselbe wirksame Masse und dieselbe Hebellänge besitzt, zurück. Da ein Gummimanometer mit denselben Konstanten eine um etwa 2,5 % geringere Güte als das ideale Kolbenmanometer besitzt (S. 36 und Tabelle I der „Dynamik“), ist die Güte des projektierten Federmanometers nach der Theorie um 6,5 % geringer als diejenige eines rationell konstruierten Gummimanometers. Diese Differenz ist so gering, daß man ihr zuliebe nicht die in der Einleitung geschilderten Vorteile des Federmanometers aufgeben wird.

Die Rückwirkung des Instruments ist sehr klein. Da die dynamische Korrektur, wie sich aus den Kreislaufversuchen ergibt, und damit auch die dynamische Rückwirkung für das Instrument unbedeutend ist, so läßt sich die Rückwirkung aus den statischen Konstanten, hier aus dem Volumelastizitätskoeffizienten, eindeutig bestimmen. Sie besteht für 100 mm Quecksilber in einer Volumverschiebung von 6 cmm.

E. Das neue Manometer.

So sind wir zur folgenden Konstruktion[1]) gelangt (s. die nebenstehende Zeichnung). Den Grundkörper des Manometers bildet eine Glasröhre, von derselben Art, wie sie in Kap. 16 angegeben ist. Auf der Seite e dieser Röhre, die hier in die mit ihr gleich weite Manometerkapsel ausläuft, sitzt ähnlich, wie bei dem dort gezeichneten Spiegelmanometer der Spiegelträger

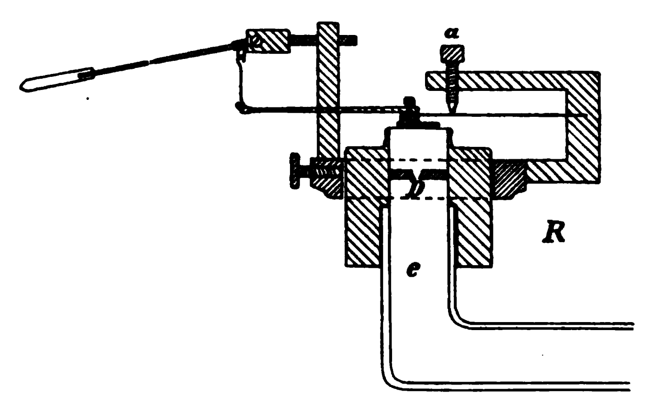


Fig. 4a.
Kopf des Federmanometers.

angebracht ist, der Hebelapparat. Sein Grundteil ist ein Ring R, der um diese Seitenröhre evtl. gedreht werden kann, für gewöhnlich aber festgestellt ist. Von diesem Ring geht nach rückwärts ein Arm aus, an dem die Feder und der 1. Hebelarm befestigt ist. Die Feder ist 4 mm breit und 0,2 mm dick. Sie ist in ihrem Träger durch Schrauben unverrückbar festgeklemmt und schlägt nach oben gegen den Anschlag a. Der Anschlag besteht aus einer Schraube, die in der Richtung der Feder verschoben werden kann, damit die nötige Empfindlichkeit genau erhalten wird. Die Entfernung von der Befestigungsstelle der Feder bis zu dem Anschlag beträgt 2 cm. An dem vorderen Ende der Feder ist unverrückbar eine Metallpelotte von 8 mm Durchmesser angebracht. Das vordere Ende der Feder ist an einer oberen Rinne dieser Pelotte festgeschraubt. Die Entfernung des Anschlags von der Mitte der Pelotte beträgt 5 mm. Nach vorn ist in die Pelotte ein Stahlhebelchen eingefügt, das am vorderen, breit geschlagenen Ende eine Öse trägt. Die Öse befindet sich in 2,4 cm Entfernung von der Mitte der Pelotte. Der

1) Das Manometer ist seit 1905 im Gebrauch. Über seine Konstruktion habe ich auf dem deutschen Physiologentag in Würzburg Pfingsten 1909 berichtet.

kurze Hebelarm dieses Hebelarms 1 (H 1 der Zeichnung) wird nach den obigen Formeln zu 0,4 cm, der lange Hebelarm zu 2,8 cm.

Der Hebelarm 1 ist mit dem Hebelarm 2 durch einen aus feinem Stahldraht gebildeten Doppelhaken verbunden. Der Haken greift in eine an der Achse des Hebels 2 befestigte Drahtschlinge an. Der Hebel 2 wird durch eine 3,5 mm von der geometrischen Achse wirkenden Spiralfeder nach oben gezogen. Die Verbindung der beiden Hebel durch den Doppelhaken gewährleistet, wie in der Abhandlung „Ein neuer Sphygmograph" (s. Kap. 13)

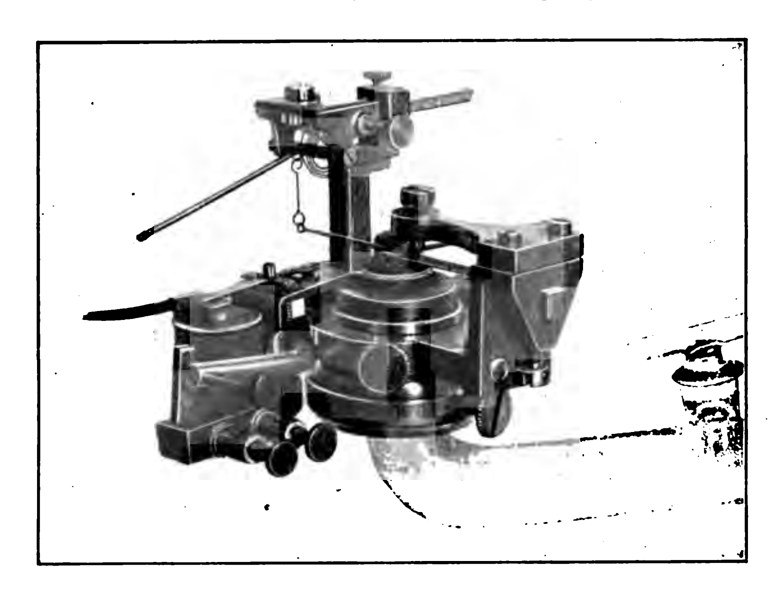


Fig. 4b.
Federmanometer mit Zeitmarkierung.

gezeigt worden ist, eine möglichst geringe Reibung. Es ist hier nach dem Prinzip der freien Achse verfahren. Bis jetzt haben wir es noch nicht für nötig gefunden, die Achse des Hebels 2 frei zu lagern. Sie hat die gewöhnliche Spitzenlagerung an ihren Enden. Der Hebel 2 ist aus dünnstem Stroh gebildet und trägt an der Spitze eine Schreibfeder aus Papier, wie der Hebel unseres Sphygmographen. Die Achse des Hebels 2 befindet sich in einem drehbaren Lager und kann durch eine Schraube so fein eingestellt werden, daß der Hebel mit geringster Reibung auf dem berußten Papier schreibt.

In die Manometerkapsel kann eine Scheibe D mit einer feinen konischen Öffnung festgeklemmt werden, wenn die Schwingungen gedämpft werden sollen[1]).

Es ist höchst bemerkenswert, wie genau sich die wesentlichen Konstanten der Registrier-Instrumente jetzt nach den theoretischen Entwicklungen der „Statik" und der „Dynamik" (s. S. 39) voraus bestimmen lassen. Nach der

1) Die in der zitierten Abhandlung mitgeteilten Kurven sind ohne jede besondere Dämpfung aufgenommen.

Theorie sollte ein Instrument, das genau die in der obigen Tabelle angegebenen Konstanten hat, eine Schwingungszahl von 51,7 erhalten. Das erste Konstruktionsmodell unseres Instrumentes hatte, wie die Versuche ergaben, die voraus berechnete Empfindlichkeit und eine Schwingungszahl von 46,7, die zweite Ausführung ein N von 49.

Man darf wohl sagen, daß dieses Ergebnis eine glänzende Bestätigung der komplizierten theoretischen Entwicklung darstellt, welche die Veränderung der Form unter dem Einfluß des Druckes und der Trägheitskräfte zu bestimmen gelehrt haben.

Daß der vorausberechnete Wert und der tatsächlich gefundene nicht absolut gleich ist, liegt daran, daß die Größen der Konstanten bei der Konstruktion nicht genau eingehalten werden können; vor allen Dingen aber, daß die gesamten reduzierten Massen der Teile, außer dem 2. Hebel, bei der Berechnung überhaupt nicht in Berücksichtigung gezogen worden sind. Wir geben hier eine ungefähre Schätzung dieser Größen, damit man beurteilen kann, wo evtl. eine allerdings nicht sehr wesentliche Verbesserung des Instruments einsetzen kann:

Die reduzierte Masse m für die verschiedenen Apparatteile:

Hebel 2	33,3
Achse von Hebel 2	0,56
Hülse für Hebel, Stütze für Öse und Spiralfeder .	0,28
Verbindungsdraht	0,27
Platte	0,40
Hebel 1	1,9

Durch diese Verbesserung wird die Schwingungszahl vielleicht etwas in die Höhe, auf rund 50, gerückt werden können. Aber selbst, wenn das nicht ausgeführt würde, so würde unsere Absicht, ein Hebelmanometer von hoher Schwingungszahl zu konstruieren, vollkommen erreicht sein. Die Schwingungszahl und damit die Güte geht weit über diejenige der bisher bekannten Hebelmanometer hinaus, ja über diejenige aller vor der Konstruktion des Spiegelmanometers veröffentlichten optischen Manometer.

Auch die Vorausbestimmung der Empfindlichkeit ist außerordentlich sicher.

In dem Intervall zwischen 0 und 100 mm Hg. war die Empfindlichkeit bei unserem Konstruktionsmodell genau die gewünschte, nämlich 1 cm Ausschlag. Die Empfindlichkeit steigt etwas an. Das Ansteigen ist aber nur unwesentlich. Es ist wohl dadurch bedingt, daß bei der größeren Ausbauchung der Membran die peripheren Teile mit in die Deformation eingezogen werden, sonst müßte nach den Auseinandersetzungen der früheren Abhandlungen die Empfindlichkeit bei den stärkeren Ausschlägen wegen der wachsenden Spannungen abnehmen. Die nicht ganz gleichmäßigen Ausschläge, die bei dem Zurückgehen des Druckes auftreten, sind wohl nur zum Teil durch die Nachdehnung bewirkt. Das Hg.-Manometer war für die Eichungen nicht recht geeignet. Wie dem aber auch sei, die Abweichungen betragen nur wenige Prozent. Sie dürften bei der regelrechten Benutzung des Manometers nicht mehr als 1 % sein. Sollten sich bei einer Konstruktion etwas größere Abweichungen von der gewünschten Empfindlichkeit ergeben,

so läßt sie sich, ohne daß die Güte des Instruments wesentlich leidet, leicht durch eine kleine Verstellung des Anschlags auf die gewünschte Höhe bringen.

Die theoretischen Entwicklungen, die der Konstruktion zugrunde liegen, und die experimentelle Prüfung durch Feststellung der Schwingungszahl sind so sicher, daß es kaum notwendig gewesen wäre, die Leistung des Instruments in einem Blutdruckversuch besonders festzustellen. Wir haben aber dennoch bei einem Kaninchen den Blutdruck mit dem Instrument registriert. Das Kaninchen haben wir deshalb zu unserem Versuch gewählt, weil die Blutdruckschwankungen bei ihm wegen der Kürze der Systole schwerer richtig zu verzeichnen sind als bei dem Hund bzw. bei der Katze. Es ist uns nicht bekannt, daß auch nur annähernd so gute Aufnahmen des Blutdrucks bei Kaninchen veröffentlicht worden sind. Man bemerkt alle von den optischen Manometern aufgezeichneten Einzelheiten: Die Vorhofschwingungen und Ventrikelvorschwingungen, die Anfangsschwingungen und die Inzisur; besonders deutlich ist die letztere zu erkennen. Das Manometer ist so bequem anzuwenden, daß ich es bei allen Vorlesungsversuchen verwende.

Es könnte vielleicht befremden, daß die Leistung unseres Instruments über diejenige hinausgeht, die im Kap. 5 als die höchst erreichbare bezeichnet worden ist. Die frühere Berechnung, nach der die maximale Schwingungszahl für die Empfindlichkeit 1 cm für 100 mm Hg etwa 36 betragen sollte, ist unter der Voraussetzung angestellt worden, daß ein 10 cm langer Hebel verwendet wird. Die Steigerung der Schwingungszahl um 50 %, die bei unserem Instrument erreicht wurde, ist nur der Verwendung des kurzen Hebels zu danken. Verwendet man den längeren Hebel, so läßt sich mit derselben Bestimmtheit, wie alle Erwartungen, die wir an unser Instrument geknüpft haben, zugetroffen sind, voraussagen, daß die Schwingungszahl nicht über 36 hinübergehen wird. Man wird den Erfolg unserer Bestrebungen als eine ausgezeichnete Bestätigung der Richtigkeit unserer theoretischen Entwicklungen, insbesondere der Analyse der Flüssigkeitssysteme, der Membrandeformationen und der darauf gebauten Dynamik betrachten.

Wenn man dies Ergebnis mit den vorher erreichten vergleicht, so kann man schließen, daß er nur durch die Entwicklung der Theorie ermöglicht worden ist und weiterhin, daß weitere Verbesserungsversuche nur auf dem Wege, der durch die Theorie gezeigt wird, auf Erfolg rechnen können.

F. Andere Konstruktionen.

Von A. Fick ist 1877 der Typus des Federmanometers geschaffen worden. Hält man sich an Äußerlichkeiten, so könnte man sogar behaupten, daß das von Petter und mir konstruierte Instrument genau so gestaltet ist wie das Ficksche. Fick selbst hat, wie er mir persönlich mitgeteilt hat, sein Instrument stets noch angewendet, auch nachdem eine große Zahl anderer Konstruktionen angegeben waren. Aber wie ich schon bemerkt habe, hat Fick eine ausreichende Prüfung seines Instruments nie vorgenommen und mit seinen Konstruktionsmaximen im einzelnen wiederholt gewechselt. Tatsächlich standen die Leistungen des von ihm angewendeten Instruments, nach den veröffentlichten Kurven zu schließen, ungefähr auf derselben Höhe wie diejenige der anderen.

Hürthle hat (1888, S. 422) die Konstruktion eines Flachfedermanometers angegeben, das er aber schon 1890 wieder umgeändert hat. Die alte Konstruktion, die dem Fickschen fast vollständig glich, hat er verlassen, „weil sich das Knöpfchen an der Stahlfeder verrückt". Die Feder war bei dem neuen Instrument durch Gelenkverbindungen mit der Membranplatte und dem Hebel verbunden. Auch diese Konstruktion hat er wieder aufgegeben und, wie Roy 1887 (nach Rolleston), ein Torsionsfedermanometer gebildet. Die Verbindung der Membranplatte mit der Torsionsfeder erfolgt bei dem

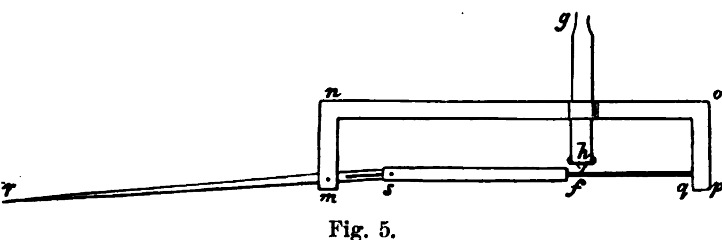


Fig. 5.
Ficksches Federmanometer.

Hürthleschen Instrument fast genau so wie bei dem Rollestonschen Kolbenmanometer. (S. Kap. 5.) „Das Torsionsfedermanometer ist dem älteren Flachfedermanometer durch Fortfall der Reibung an den Gelenken und des toten Ganges überlegen. Dagegen ist eine größere Geschicklichkeit zur Verbindung der Feder mit der Platte erforderlich". Die Anwendung eines Doppelhebels hat Hürthle schon früher, (1888, S. 422), „wegen der zu großen und unkontrollierbaren Reibung" verworfen. Daß diese Nachteile vermieden werden können, ist von Petter und mir bei der Konstruktion unseres Sphygmographen und unseres Federmanometers gezeigt worden.

Das Kolbenmanometer mit Federelastizität, das Rolleston (1887) nach Roy angegeben hat, ist in Kap. 5 behandelt.

Fick, 1877, Ein neuer Wellenzeichner. Ges. Schriften III, S. 593.
Frank u. Petter, 1910, Ein neues Federmanometer. Ztschr. f. Biologie. Bd. 54.
Hürthle, 1888, Beiträge zur Hämodynamik. Pflügers Arch. XLIII, S. 399.
Hürthle, 1890, Beiträge usw. Pflügers Arch. XLVII, S. 1.
Hürthle, 1898, Beiträge usw. Pflügers Arch. LXXII, S. 566.
Jaquet, 1908, Zur graphischen Registrierung des Blutdrucks beim Menschen. Münch. med. Wochenschr. 55, S. 445.
Rolleston, 1887, Observations on the endocardial pressure curve. Journ. of Physiology VIII, S. 234.

Kapitel 9.

Quecksilbermanometer und Wassermanometer.

(Gravitationsmanometer.)

A. Allgemeine Theorie der Gravitationsmanometer.

Die Theorie der Manometer, die ich vorher entwickelt habe, läßt sich auch auf das Quecksilbermanometer oder allgemein auf die Gravitationsmanometer anwenden.

Unter Gravitationsmanometer verstehe ich ein Manometer, bei dem der zur Messung des einwirkenden Drucks verwendete Gegendruck durch die Änderung des Niveaus einer Flüssigkeit in einer senkrecht stehenden Röhre hervorgebracht wird. Die Röhre wird meist zweischenklig in Form eines U gebildet. Als schwere Flüssigkeit kann Quecksilber oder Wasser usw. gewählt werden.

Die Theorie des Quecksilbermanometers oder des Gravitationsmanometers entwerfe ich mehr der Vervollständigung meiner allgemeinen Entwicklungen halber, als weil von ihr eine wesentliche Verbesserung dieser Instrumente zu erwarten wäre. Sie dürfte aber immerhin dazu dienen, ihre Leistungen besser und vor allem vollständiger zu charakterisieren, als dies bisher der Fall war.

Die allgemeine Gleichung für die Bewegungen der Quecksilbersäule unter der Einwirkung eines wechselnden Drucks p ist auf Grund der Lehre von den Mitschwingungen zuerst von Redtenbacher, dann von Mach und v. Kries (s. Bd. I, 4) aufgestellt worden. Redtenbacher hat die Dämpfung nicht einbezogen, wie ihm schon Fick (Med. Physik 1. Aufl. 1856 S. 470) entgegengehalten hat. Keiner dieser Autoren berücksichtigt die Bewegungen der in den Verbindungsröhren enthaltenen Flüssigkeit, weder ihren Einfluß auf die Veränderung der Gegenkraft, noch ihre Trägheitskräfte. Ferner nicht Verschiedenheiten in den Querschnitten der beiden Schenkel. Der Typus der von diesen Autoren aufgestellten Gleichung ist der folgende:

$$p\,Q = 2\,Q\,\sigma\,g\,x + l\,Q\,\sigma\,\frac{d^2x}{dt^2} + K\,\frac{dx}{dt}$$

Darin bedeuten x die Exkursionen der Quecksilbersäule unter der Voraussetzung, daß sich die Säule immer im ganzen bewegt, m die Masse der Quecksilbersäule, K den Reibungskoeffizienten, Q den Querschnitt der Säule, σ das spezifische Gewicht und g die Beschleunigung durch die Schwerkraft.

Eine Umformung, wie ich sie in Kap. 4 für die elastischen Manometer vorgenommen habe, erleichtert die Behandlung dieser Gleichung. Sie berücksichtigt zugleich die Größen, die in der Gleichung vernachlässigt werden. Statt der Dislokationen der einzelnen Teilchen und ihrer Geschwindigkeiten werden die durch einen Querschnitt strömenden Volumina V eingeführt. Durch diese Umformung ist es möglich, Verschiedenheiten der Querschnitte zu berücksichtigen. Die veränderte Gleichung lautet:

$$p = \left(\frac{\sigma_{Hg}}{Q_1} + \frac{\sigma_{Hg}}{Q_2} - \frac{\sigma_{Fl}}{Q_1}\right) g \cdot V + \Sigma\left(\frac{\sigma L}{Q}\right)\frac{d^2V}{dt^2} + \frac{K}{Q^2}\,\frac{dV}{dt} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

In dieser Gleichung sind die wechselnden Querschnitte der Flüssigkeitssäule (Verbindungsflüssigkeit und Quecksilbersäule) durch Q ausgedrückt. Q_1 ist der Querschnitt, in welchem Verbindungsflüssigkeit und Quecksilbersäule aneinander grenzen, Q_2 der Endquerschnitt der Quecksilbersäule. σ_{Hg} ist das spezifische Gewicht des Quecksilbers, σ_{Fl} dasjenige der Verbindungsflüssigkeit.

Man sieht aus der Gleichung, daß das Quecksilbermanometer gleich zu setzen ist einem einfachen optischen elastischen Manometer ohne optische

Vergrößerung (Spiegelmanometer oder Manometer in der Art des Bayliss-Starlingschen) von dem Volumelastizitätskoeffizienten

$$E' = \left(\frac{\sigma_{Hg}}{Q_1} + \frac{\sigma_{Hg}}{Q_2} - \frac{\sigma_{Fl}}{Q_1}\right) g \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Nur ist hierbei zu bedenken, daß die Flüssigkeitsmasse, die in der eigentlichen Manometerröhre — bei dem U-förmigen Manometer hauptsächlich in der U-Röhre — enthalten ist, integrierend mit dem Systemteil, in dem die elastische Gegenkraft erzeugt wird, verbunden ist. Sie ist die schädliche Masse, welche die Leistungen der Gravitationsmanometer so stark unter diejenigen der elastischen Manometer im gewöhnlichen Sinn herabsetzt (s. unten S. 56).

Der reziproke Wert der Empfindlichkeit γ, d. h. des Ausschlags des Instrumentes für die Einheit der Druckänderung beträgt:

$$\frac{1}{\gamma} = \left(\frac{\sigma_{Hg} Q_2}{Q_1} + \sigma_{Hg} - \frac{\sigma_{Fl} Q_2}{Q_1}\right) g \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Zu den wichtigsten Folgerungen über die Leistungen dieser Instrumente führt die Diskussion der wesentlichen dynamischen Konstante, der Dauer der Eigenschwingung des Systems. Das Manometersystem reicht, wie ich schon früher hervorgehoben habe, und auch aus den „Prinzipien der graphischen Registrierung" hervorgeht, von der Koppelstelle, d. h. der Mündung der Kanüle bis zu der Endstelle, dem Endniveau der Flüssigkeitssäule, oder bis zu der Registrierstelle an der Schreibspitze des Schwimmers. Ich berücksichtige im folgenden den Schwimmer zunächst nicht.

Die Dauer der Eigenschwingung T wird, wenn man von der Dämpfung wie immer absehen kann:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{E'}{M'}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Es läßt sich zeigen, daß in dem Ausdruck für E' der Summand $\frac{\sigma_{Fl}}{Q_1}$ keine wesentliche Rolle spielt. Denn Q_1 kleiner zu machen als Q_2, hat keinen Sinn, es würde nur zu unnützer Vergrößerung der wirksamen Masse führen und im übrigen die Bedeutung des Summanden nicht wesentlich erhöhen. Dagegen erscheint es zunächst nicht ohne Wert, Q_1 gegenüber Q_2 zu vergrößern, im äußersten Fall gleich unendlich zu machen. Dann fällt aber der Summand ganz heraus. Die maximale Bedeutung wird er erlangen, wenn die beiden Querschnitte, wie bei dem gewöhnlichen U-förmigen Quecksilbermanometer, gleich sind. In diesem Fall steht seine Größe zu derjenigen der ganzen Summe im Verhältnis des spezifischen Gewichtes der Verbindungsflüssigkeit — annähernd gleich 1 — zu dem doppelten spezifischen Gewicht des Quecksilbers, er nimmt also nur mit 3—4% an der ganzen Summe teil und ist bei allen Typen zu vernachlässigen. So kann man setzen:

$$E' = g\, \sigma_{Hg} \left(\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

d. h. je größer die Querschnitte der Röhre sind, um so kleiner ist E'.

Ich behandle getrennt die Analyse des gleichweitschenkligen Hg-Manometers, d. h. des gewöhnlichen Hg-Manometers, bei dem sich das Quecksilber in einer gleichweiten U-förmigen Röhre befindet, und des einschenkligen Hg-Manometers, bei dem, wie bei einem Gefäßbarometer, das Quecksilber durch den Druck aus einem Reservoir emporgedrückt wird. Dann schließe ich die Analyse des Wassermanometers an.

B. Konstanten des gewöhnlichen U-förmigen Quecksilbermanometers.

Unter der zuletzt erörterten Vereinfachung beträgt der Wert der Empfindlichkeit dieses Manometers:

$$\gamma = \frac{1}{2g\sigma_{Hg}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

Der Volumelastizitätskoeffizient E′ wird zu:

$$E' = \frac{2g\sigma_{Hg}}{Q} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

Beispiele: Für einen Durchmesser der Röhre von 0.5 cm wird E′ rund 136000, bei 1 cm Durchmesser 34000.

Die wirksame Masse der Flüssigkeit M′. Eine Überschlagsrechnung zeigt, daß die Masse der Flüssigkeit in der Verbindungsröhre bei günstigster Konstruktion der Röhre keine wesentliche Rolle spielt. Diese Masse ist dann etwa zu 100 zu schätzen, während bei einem Manometer, das 30 cm Hg Druck noch anzeigen soll, und bei dem der Verbindungsbogen der U-förmigen Röhre 5 cm Durchmesser hat, für einen Querschnitt von 0,5 cm Durchmesser, die wirksame Masse des Quecksilbers 2740 und für einen Querschnitt von 1 cm Durchmesser 680 beträgt. Danach kann man von der Masse der Flüssigkeit in der Verbindungsröhre absehen, wenn die eigentliche Manometerröhre unter 0,5 cm Durchmesser hat, und die Eigenschwingungen der Quecksilbersäule allein betrachten. Für sie ergibt sich folgende einfache Formel, wenn die wirksame Masse der Quecksilbersäule $= \frac{L\,\sigma_{Hg}}{Q}$ gesetzt wird

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (8)$$

(s. „Kritik der Manometer" S. 497).

(Die Veränderungen der Masse, die durch das Vordringen der Verbindungsflüssigkeit bedingt sind, werden ebenfalls vernachlässigt.)

C. Die Konstanten des einschenkligen Quecksilbermanometers.

Der Wert der Empfindlichkeit wird hier:

$$\gamma = \frac{1}{g\,\sigma_{Hg}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (9)$$

wenn man in der Formel (3) den Querschnitt $Q_1 = \infty$ setzt.

Der Volumelastizitätskoeffizient E′ wird zu:

$$E' = \frac{g \cdot \sigma_{Hg}}{Q} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (10)$$

Während also die Empfindlichkeit dieses Manometers doppelt so groß als diejenige des gewöhnlichen Hg-Manometers ist, wird die Schwingungsdauer größer, nämlich:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

D. Die Leistungen der Quecksilbermanometer.

Daß das einschenklige Hg-Manometer keinen Vorzug vor dem gewöhnlichen U-förmigen hat, läßt sich sofort zeigen, wenn man die Güte dieser beiden Systeme berechnet. Sie ist bei beiden identisch, nämlich gleich:

$$G = \frac{1}{4\pi^2 L \sigma_{Hg}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Während das einschenklige Manometer eine größere Empfindlichkeit als das andere hat, ist sein Auflösungsvermögen (s. S. 1) geringer. Man wird also das U-förmige vorziehen.

Es bliebe nur eine Möglichkeit, diese Güte zu erhöhen, indem man das Manometer nur für einen bestimmten Bezirk von Druckschwankungen einrichtet: Der Querschnitt des Instruments wird in dem Schenkel 1, ferner in dem Röhrenbogen, und außerdem in dem Schenkel 2 bis zu demjenigen Punkt sehr weit gemacht, von dem aus der Bezirk der zu registrierenden Druckschwankungen beginnt. Von diesem Punkt ab wird der Schenkel 2 eng, um einen möglichst hohen Elastizitätskoeffizienten zu erzielen. Aber abgesehen davon, daß eine derartige Konstruktion technisch nicht leicht durchzuführen wäre, würde sie auch keinen Vorteil bieten, da der enge Teil des Schenkels 2 doch höchstens auf etwa $^1/_3$ der sonstigen Länge reduziert werden könnte. Ferner hat diese Konstruktion den Nachteil, daß die wirksame Masse des Instruments außerordentlich wechselt, je nach dem Druckbezirk, für den es bestimmt ist. Man wird daher bei der gleichschenkligen Konstruktion bleiben.

Wie schon oben auseinandergesetzt worden ist, soll die Manometerröhre im allgemeinen eng sein. Denn je weiter die Röhre ist, desto mehr tritt der Einfluß der Masse der Verbindungsröhre zutage und verlängert die Dauer der Eigenschwingungen. Da diese Masse aber schon bei einem Durchmesser der eigentlichen Manometerröhre von 0,5 cm gegenüber der Masse des Quecksilbers zurücktritt, wird man wegen der Schwierigkeit der Schwimmerkonstruktion keine Veranlassung haben, unter diesen Durchmesser herabzugehen.

Um zu zeigen, wie weit die Leistungen des Hg-Manometers reichen, berechne ich für ein bestimmtes Beispiel die Güte und das Auflösungsvermögen. Soll das Manometer zur Druckbestimmung in den Arterien dienen, so muß es einen Bezirk von 30 cm Hg umfassen. Nimmt man für den Bogen des U-Rohrs bei 5 cm Durchmesser eine Länge von rund 16 cm an, so wird die Gesamtlänge der Quecksilbersäule L = 46 cm. Die Schwingungsdauer dieses Systems beträgt nach der Formel (8) ca. 0,95 Sekunden. Zieht man noch die Vernachlässigung des einen Summanden von E′ (s. S. 50), ferner die wirksame Masse der Verbindungsflüssigkeit in Betracht, so kann man

die Schwingungsdauer zu rund 1 Sekunde annehmen. Da, wie von Petter und mir gezeigt worden ist, ein elastisches Hebel-Manometer bei bester Konstruktion eine Schwingungszahl von 50/Sekunde erhalten kann, und seine Empfindlichkeit in diesem Fall $^1/_5$ der Empfindlichkeit dieses Quecksilbermanometers ist, beträgt die Güte des Quecksilbermanometers nur $^1/_{500}$ der Güte eines zweckmäßig konstruierten Federmanometers. Bedenkt man noch daß die Bewegungen des Quecksilbermanometers auch durch den bestkonstruierten Schwimmer nicht korrekt wiedergegeben werden können, so kommt man zu der Überzeugung, daß das Quecksilbermanometer für die Aufzeichnungen der Blutdruckschwankungen, jetzt nachdem es gelungen ist, korrekt aufzeichnende elastische Manometer zu konstruieren, seine wesentliche Bedeutung verloren hat. Der einzige Vorteil, den es vor diesem Federmanometer hat, nämlich der, daß die Ordinaten senkrecht sind, wird zum Teil dadurch aufgehoben, daß der Schwimmer die genaue zeitliche Feststellung der Veränderungen des Blutdrucks verhindert. Auf der andern Seite läßt sich auch die Schreibung mit Bogenordinaten so einrichten, daß sie genau und bequem die Bestimmung der zeitlichen Koinzidenzen gestattet. Die Inkonstanz der Eichungswerte, die bei dem Federmanometer vorhanden ist, kann auf ein Minimum herabgedrückt werden, wenn man das Federmanometer nach den von mir angegebenen Prinzipien konstruiert. Auf der andern Seite sind auch die Ausschläge des Quecksilbermanometers, selbst wenn man von den Fehlern der Schwimmerregistrierung absieht, nicht konstant für bestimmte Druckwerte und können wegen der Veränderung der Form der Quecksilberkuppe und der dadurch oder durch Unreinlichkeiten bedingten Veränderung der Oberflächenspannung leicht um mehrere Prozent differieren. (S. „Kritik“ S. 497.)

Ein derartiges Instrument, das eine Schwingungsdauer von 1 Sekunde besitzt, ist vollständig ungeeignet, die Hauptqualitäten des Druckablaufs in der Arterie zu bestimmen. Daß die Amplituden der Druckschwankungen, die durch die Herzbewegung hervorgebracht werden, von einem solchen Instrument nicht richtig wiedergegeben werden können, kann man schon daraus ersehen, daß die Pulsfrequenz bei dem Hund etwa 2 und bei dem Kaninchen etwa 4 in der Sekunde beträgt. Die pulsatorischen Druckschwankungen werden also bei beiden Tieren, vor allem bei den letzteren, stark verkleinert durch das Hg-Manometer dargestellt.

Das ist aber nicht der größte Fehler des Instruments. Nimmt die Frequenz des Pulses, etwa bei Vagusreizungen oder nach Giftwirkungen, ab, so tritt unter Umständen Resonanz ein, wenn die Pulsfrequenz mit der Schwingungszahl annähernd übereinstimmt. Die Schwingungen werden sukzessive vergrößert und die Druckschwankungen werden in einem vergrößerten Maßstabe wiedergegeben. Aber diese Resonanz tritt nicht allein auf die pulsatorischen Schwankungen ein, sondern, was noch bedenklicher ist, auch auf die respiratorischen Schwankungen. Sie erscheinen vergrößert gegeben und täuschen, wenn der Herzschlag aussetzt, die pulsatorischen Schwankungen vor. Sie werden von diesen nicht zu unterscheiden sein, so daß mit dem Hg-Manometer nicht einmal die Pulsfrequenz richtig bestimmt werden kann. (Hierauf ist schon von Vierordt 1855, S. 7, später von Asp 1867 aufmerksam gemacht worden.) Im übrigen ist zu beachten, daß die Einschaltung von

elastischen Faktoren, wie Schlauchverbindungen oder Luftblasen in die Verbindungsröhre keinen so schädlichen Einfluß hat, als bei den elastischen Manometern, die für die Druckmessung im arteriellen System bestimmt sind, da bei dem Hg-Manometer der Koeffizient E′ klein ist. Man könnte sogar daran denken, die Verbindungsröhre, die dann natürlich sehr eng sein muß, mit Luft zu füllen.

Daß die Röhre des eigentlichen Manometers nicht zu weit sein darf, da sonst die Masse der Verbindungsflüssigkeit die Schwingungsdauer herabsetzt, ist schon oben hervorgehoben worden.

Man wird nach diesen Erörterungen von dem Hg-Manometer nichts weiter erwarten dürfen, als daß es den mittleren Blutdruck — wenigstens angenähert — richtig aufschreibt, und die normale Pulsfrequenz andeutet. Eine Korrektur der von dem Hg-Manometer aufgeschriebenen Kurven erscheint im allgemeinen undurchführbar, selbst wenn man nur die Feststellung des maximalen und des minimalen Blutdrucks verlangt. Die Rückwirkungen des Systems sind klein, solange es nur kleine Exkursionen ausführt, wie bei der normalen Pulsfrequenz. Tritt aber Resonanz auf, so muß die Rückwirkung außerordentlich groß sein, weil das Instrument die Bedingungen der Isometrie bedeutend weniger erfüllt als die elastischen Manometer. Die Rückwirkung dürfte dann so groß sein, daß sie sich in großen Gefäßgebieten geltend macht. Es erscheint absolut notwendig die Resonanz zu verhindern. Das kann nur durch Dämpfung geschehen.

E. Das gedämpfte Quecksilbermanometer.

Auf Grund der Entwicklungen von v. Kries wird von vielen das zuerst von Marey (1858) angewendete gedämpfte[1]) Hg-Manometer als ein Standardinstrument benutzt, mit dem man den mittleren Blutdruck sicher darstellen könne. Es wird dabei das Hg-Manometer durch Einfügung eines Reibungswiderstands an irgendeiner Stelle stark gedämpft, so stark, daß die pulsatorischen Schwankungen und auch die respiratorischen Druckschwankungen nicht mehr registriert werden.

v. Kries (loc. cit.) hat schon darauf aufmerksam gemacht, daß die theoretischen Entwicklungen nicht zu dem Ergebnis führen, daß das gedämpfte Manometer den mittleren Blutdruck richtig aufschreibt. Er schloß allein aus seinen Versuchen, daß das gedämpfte Instrument den mittleren Blutdruck im Gegensatz zu den ungedämpften richtig verzeichnet, und glaubte den Grund für die Diskrepanz zwischen Theorie und Experiment darin zu finden, daß sich die Quecksilbersäule bei den Bewegungen nicht als ganzes bewegt, wie die Theorie voraussetzt. Ich glaube daß erst nach neuen systematischen Versuchen ein Entscheid über diese Frage möglich ist.

Danach wird man erwarten dürfen, daß das gedämpfte Manometer nicht unbedingt sicher den mittleren Blutdruck aufschreibt, sondern wie auch einfache theoretische Überlegungen schon zeigen, in bestimmten Fällen Differenzen gegenüber dem wirklichen mittleren Blutdruck registriert. Solche Fälle treten besonders ein, wenn keine periodischen Schwankungen auf das Manometer wirken, sondern wenn es einen länger verlaufenden Druckabfall

1) Von Marey als kompensiertes Manometer bezeichnet.

oder auch einen Druckanstieg registrieren soll. Im ersteren Fall wird der verzeichnete mittlere Druck zu hoch, im letzteren zu niedrig.

Tschuewsky hat sich unter der Leitung Hürthles der Mühe unterzogen, derartige Abweichungen der Angaben des gedämpften Quecksilbermanometers von dem durch ein Federmanometer verzeichneten mittleren Druck durch Experimente zu belegen.

Eigentlich ist eine richtige Angabe des mittleren Drucks nur zu erwarten in den Perioden, in denen das Quecksilber des Manometers seinen Stand nicht verändert. Über den Ablauf des mittleren Drucks an Anstieg- oder Abfallstellen könnten einfache Korrekturen entscheiden. Die korrekten Registrierungen des Federmanometers erlauben dagegen, für beliebige Zeitintervalle den mittleren Druck sicher festzustellen.

Trotzdem wird man das richtig gedämpfte Hg-Manometer dem ungedämpften vorziehen, vor allen Dingen wegen der außerordentlichen Schädigungen, welche durch die Resonanz hervorgerufen werden. Sie führt zu starken Rückwirkungen und weiter zu schädlichen Injektionen der Verbindungsflüssigkeit in das Kreislaufsystem.

Die Dämpfung ist nicht willkürlich zu gestalten, sondern rationell, d. h. sie soll das System gerade aperiodisch machen. (S. „Die Prinzipien der graphischen Registrierung“ Bd. I, 4.)

F. Das Wassermanometer.

Von den übrigen Gravitationsmanometern behandle ich nur das sogenannte Wassermanometer. Die senkrechte Röhre des eigentlichen Manometers ist mit derselben Flüssigkeit gefüllt wie die Verbindungsröhre. Die Schwankungen des Meniskus in der senkrechten Röhre werden durch einen Schwimmer aufgeschrieben.

Seine Analyse ist dieselbe wie diejenige des einschenkligen Hg-Manometers. Nimmt man das spezifische Gewicht der Flüssigkeit zu 1 an, so wird also die Empfindlichkeit

$$\gamma = \frac{1}{g} \text{ und } E' = \frac{g}{Q} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Zur Beurteilung ihrer Leistungen betrachte ich die Wassermanometer nach ihren Zwecken getrennt. Gesetzt den Fall, es würde für die Registrierung des Drucks in dem arteriellen System, also für die Darstellung eines Drucks von ca. 30 cm Hg = 4 m Wasser bestimmt. Dann muß die Länge der Säule so groß sein, daß ihre Masse derjenigen eines für den gleichen Zweck bestimmten Hg-Manometers gleichkommt. Danach verschwindet die Masse der Flüssigkeit in der Verbindungsröhre, und die Schwingungsdauer kann nach der Formel (11) berechnet werden. Die Güte dieses Manometers wird dann zu

$$G = \frac{1}{4\pi^2 L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

d. h. sie ist 13,6 = dem spezifischen Gewicht des Quecksilbers $\times$ größer als diejenige des Hg-Manometers. Aber deshalb wird man das Wassermanometer zur Bestimmung des arteriellen Blutdrucks doch nicht verwenden.

Ganz abgesehen davon, daß das Manometer eine höchst unbequeme Länge bekommen müßte, ist zu beachten, daß seine Schwingungszahl oder sein Auflösungsvermögen nicht höher ist als bei dem einschenkligen Hg-Manometer. Der Druckablauf wird also ebenso entstellt aufgezeichnet, wie durch das Hg-Manometer, nur in einem entsprechend der Empfindlichkeit vergrößerten Maßstab. Mit der Vergrößerung der Empfindlichkeit geht aber eine außerordentliche Erhöhung der Rückwirkung einher, die in demselben Maße wie die Empfindlichkeit wächst. Man wird ein derartiges Instrument trotz des scheinbaren Vorteils der vergrößerten Empfindlichkeit als das ungeeignetste für die Aufzeichnungen des arteriellen Blutdrucks bezeichnen.

Etwas anders liegen die Verhältnisse für ein Instrument, das die Druckschwankungen in einem kleineren Bezirk aufzeichnen soll, also etwa für ein Venendruckmanometer. Hier kann man die Flüssigkeitssäule des eigentlichen Manometers gegenüber derjenigen der Verbindungsflüssigkeit so weit verringern, daß sie vernachlässigt werden kann. Dann wird das System identisch mit einem einfachen optischen Manometer. Für seine Güte gelten dieselben Grundsätze wie für dieses System, d. h. sie ist abgesehen von der Masse der Verbindungsflüssigkeit umgekehrt proportional dem Endquerschnitt des Systems, hier der Manometerröhre.

Diese Auseinandersetzung läßt außerordentlich klar den Einfluß des Querschnittes der Manometerröhre auf die Leistungen des Systems der Gravitationsmanometer übersehen. Muß die Masse des eigentlichen Manometers groß genommen werden wegen der Größe des zu registrierenden Druckbezirks, so hat das System den Charakter der eigentlichen Gravitationsmanometer, deren Leistungen wegen der für ihre Aufgabe unentbehrlichen Masse so stark hinter denjenigen der elastischen im engeren Sinn zurückstehen. Seine Güte hängt von dem Querschnitt der Röhre nicht ab.

Ist dagegen der untersuchte Druckbezirk nur klein, so tritt der umgekehrte Fall ein, die Masse des eigentlichen Gravitationsmanometers verschwindet und das Manometer bekommt den Charakter der rein optischen Manometer, deren Güte um so größer, je kleiner der Querschnitt der Manometerröhre ist.

Wenn auch die Güte des Wassermanometers, das als Venendruckmanometer benutzt wird, höher ist als bei dem arteriellen Manometer, so wird sie doch noch wesentlich hinter derjenigen der elastischen Venenmanometer, besonders bei optischer Registrierung, zurückstehen.

Zum Schluß dieser Erörterungen, die wesentlich in einer Kritik bestehen, aber doch nicht bedeutungslos werden, möchte ich darauf hinweisen, daß sie deshalb ein so klares Urteil ermöglicht haben, weil sie sich auf die eigentümliche Behandlung der Manometer bzw. Flüssigkeitssysteme stützen, die ich in der „Kritik“ inauguriert habe (s. Kap. 2). Sie bestand darin, an Stelle der linearen Verschiebungen der gewöhnlichen Bewegungsgleichungen die Volumverschiebungen einzuführen. Diese analytische Methode ist der Natur der behandelten Systeme adäquat.

G. Prüfung der Theorie.

Die Hauptzüge der Theorie habe ich durch einige Experimente geprüft, vor allem durch die Feststellung der Schwingungsdauer einer in einer U-förmigen Röhre befindlichen Flüssigkeit. Die Registrierung dieser Bewegungen konnte natürlich nur photo-

graphisch geschehen, wenn die Fehler vermieden werden sollten, die durch den Schwimmer erzeugt werden.

Die beobachteten Schwingungszeiten stimmen befriedigend, aber nicht vollständig mit den berechneten überein (Differenzen von 4—10%). Am besten ist die Übereinstimmung bei dem Quecksilber, vermutlich weil besondere Verhältnisse bei der Flüssigkeitsbewegung in Betracht kommen, die vielleicht mit der Eigenschaft der Benetzung zusammenhängen. Jedenfalls geht aber aus meinen Versuchen hervor, daß man besonders für das Quecksilbermanometer die Leistungen auf Grund der oben entwickelten Theorie beurteilen kann. Die Annahme von v. Kries, daß die Ergebnisse der Theorie und der experimentellen Untersuchungen deshalb nicht übereinstimmten, weil sich die Flüssigkeit nicht als Ganzes bewege, findet in meinen Versuchen keine Stütze. (S. hierüber auch „Kritik der Manometer“ S. 493.)

Die Schwingungen der Quecksilbersäule werden bei einer kleinen Amplitude plötzlich sehr kurz, in meinen Versuchen auf die Hälfte reduziert. Man sieht, daß bei diesen kurzen Schwingungen sich nur der Meniskus der Quecksilbersäule bewegt. Ich erblicke hierin den Einfluß der Oberflächenspannung, die wie eine Vergrößerung des Elastizitätskoeffizienten E′ wirkt. Daß durch sie die Unstimmigkeiten zwischen Theorie und Experiment, die nach der v. Kriesschen Untersuchung bestehen sollen, nicht erklärt werden können, liegt auf der Hand.

H. Spezielle Konstruktionen.

Die Konstruktion eines Quecksilbermanometers ist sehr einfach. Man braucht dazu nur eine U-förmige, möglichst gleich weite Röhre. Die Röhre muß gleich weit sein, damit man durch Verdoppelung der Ausschläge den wirklichen Druck erhält. Anderenfalls müßte man Korrekturen anbringen. Eine für Blutdruckversuche geeignete Ausführung des Quecksilbermanometers ist das von Traube angegebene und von Cyon veränderte Instrument, das in der nebenstehenden Figur abgebildet ist. Es dürfte nicht nötig sein, die Konstruktion näher zu beschreiben. Recht zweckmäßig erscheint auch die von Hürthle (1898, S. 572) beschriebene Anordnung. Bei ihr setzt sich der kurze Schenkel des U-Rohres in ein T-Stück fort, dessen einer Fortsatz mit der Arterie in Verbindung gebracht wird, während der andere, senkrecht stehende, durch einen Hahn verschlossen und von einer über diesem stehenden

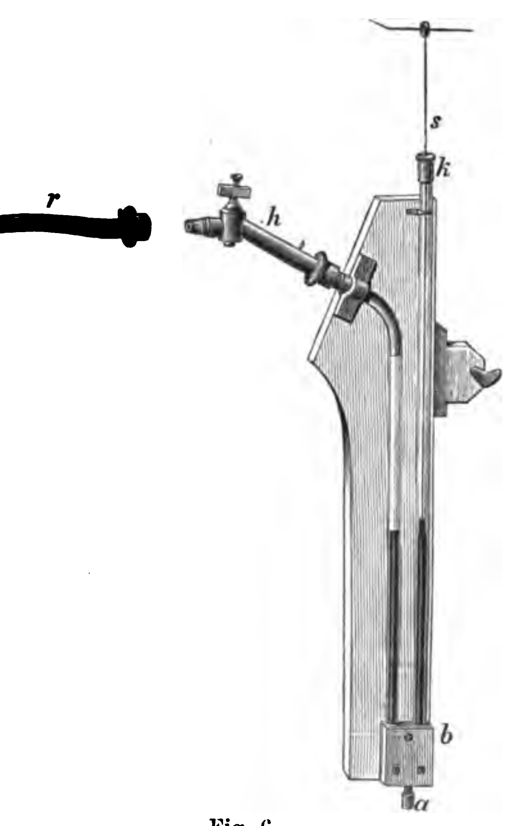


Fig. 6.
Quecksilbermanometer nach Ludwig.

Glaskugel mit der gerinnungshemmenden Flüssigkeit gefüllt werden kann. In die Glaskugel können die Luftblasen des Röhrensystems ausgetrieben werden.

In der Abhandlung von Hürthle ist auch eine geeignete Schwimmerkonstruktion angegeben. Er besteht aus einem im freien Manometerschenkel aufsteigenden Aluminiumdraht, der in einem Loch des Verschlußdeckels eine Führung hat; unten endigt er in einen Beinstift, der sich in das Quecksilber einsenkt. Auf ihn ist ein Hartgummiring aufgeschoben, der ziemlich genau die Röhre ausfüllt. An dem Aluminiumdraht ist oben die äquilibrierte Schreibspitze oder bei Tintenschreibung die Schreibpfeife bzw. ein Pinsel aufgesetzt. Die Ausschläge des Schwimmers durch Hebelregistrierung zu vergrößern, wie dies vielfach schon geschehen ist und in Langendorffs Graphik empfohlen wird, dürfte nur in seltenen Fällen geraten sein.

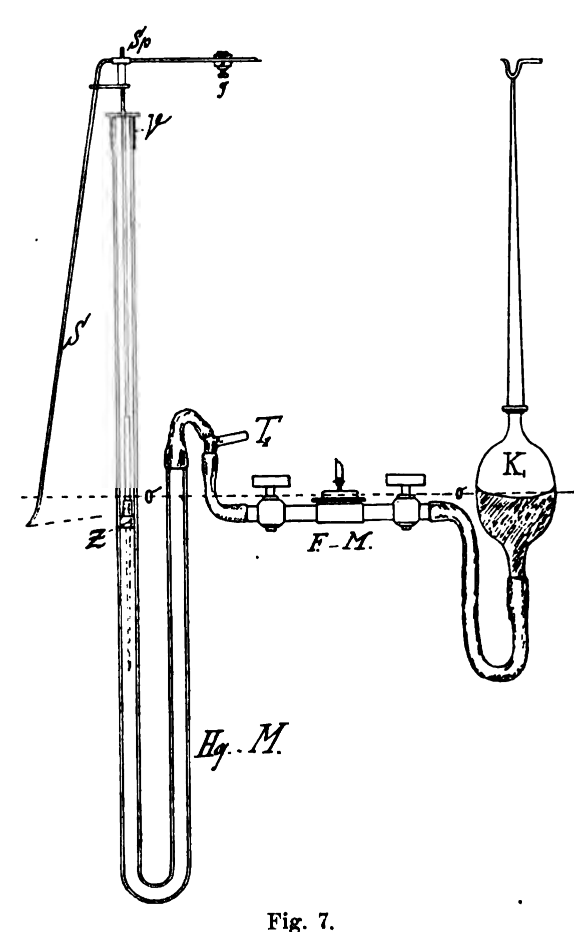


Fig. 7.
Hg Manometer mit dem Hürthleschen Federmanometer verbunden.

Stewart (1891) beschreibt einen Schwimmer, der das bei raschen Bewegungen stattfindende Übersteigen des Quecksilbers vermeiden soll. Eine Glasröhre wird zu einem langen und dünnen Stab mit einer kleinen birnförmigen Erweiterung am unteren Ende ausgezogen. Über dieser kleinen Birne wird mit Siegellack ein kleines Stück Glasröhre befestigt, das gerade so weit ist, um sich leicht in der Manometerröhre zu bewegen. Die Vorrichtung ist nach Stewart so gestaltet, daß der Schwimmer durch das Quecksilber nicht an die Röhre angepreßt wird. Der Glasstab bekommt seine Führung durch die Öffnung des Deckels. An die Papieroberfläche wird die Schreibpfeife nicht durch einen durch ein Gewicht beschwerten Faden angedrückt, wie dies gewöhnlich geschieht, sondern durch ein oben und unten in passender Entfernung von der Trommel befestigtes langes Pferdehaar.

Wenn man die Resonanzerscheinungen und damit die schnellen Bewegungen durch eine passende Dämpfung vermeidet, so bleibt der Schwimmer jedenfalls nicht so leicht hängen.

Daß das Quecksilbermanometer selbst bei sorgfältiger Konstruktion oft bis zu 3 mm fehlerhafte Ausschläge macht, ist von Hürthle, Sachs und Riemann (1905) gezeigt worden. Nach Hürthle sind diese Ungenauigkeiten hauptsächlich durch Unreinigkeiten der Oberfläche und dadurch bedingte Veränderung der Oberflächenspannung (s. „Kritik“) hervorgerufen. Wenn man Druckdifferenzen zwischen zwei Gefäßgebieten, etwa zwischen der Carotis und der Cruralis zu bestimmen hat, so kann man diese Fehler durch gleichzeitige Registrierung mit zwei Manometern und Vertauschung der Manometer eliminieren. (l. c. S. 428.)

Von Goltz und Gaule (1878) ist ein Maximum-Minimum-Quecksilbermanometer benutzt worden zur Bestimmung der extremen Drücke in dem Ventrikel. Hürthle (1888) hat diesem Manometer eine bequeme Form gegeben (s. Fig. 8).

Über die Konstruktion von Wassermanometern ist nichts Besonderes zu sagen. Ich erwähne nur, daß Grünhagen (1881) einen Schwimmer für Wassermanometer angegeben hat. Der kleine Kolben des Schwimmers besteht aus Paraffin, das in eine etwas engere Röhre als die Manometerröhre eingegossen wird. Man kann auch statt dessen einen paraffinierten Kork oder einen hohlen Hartgummizylinder wie bei dem Pistonrekorder anwenden. Der letztere kann ja auch als Wassermanometer bei geringen Druckschwankungen verwendet werden.

Zur Dämpfung oder Kompensation der Quecksilber- und Wassermanometer muß in das Röhrensystem ein Reibungswiderstand in Gestalt eines Hahnes oder einer „Dämpfungsschraube“ (s. „Kritik“ S. 585) eingefügt sein. Am zweckmäßigsten dürfte eine passende unveränderliche Verengerung einer Stelle der Röhre sein, damit man mit einer bestimmten Dämpfung stets rechnen kann.

Fig. 8.
Maximum-Minimum Manometer in der Hürthleschen Form.

Asp 1867. Beobachtungen über Gefäßnerven. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss.
Frank, O. 1910. Die Theorie der Gravitationsmanometer. Zeitschr. f. Biologie.
Grünhagen 1881. Ein neues manometrisches Verfahren zur Demonstration vasomotorischer Zentra im Rückenmark des Frosches. Pflügers Archiv XXV, S. 251.
Hürthle 1898. Beiträge zur Hämodynamik. Pflügers Archiv LXXII, S. 566.

Hürthle 1905 (mit Sachs und Riemann). Vergleichung des mittleren Blutdrucks in Carotis und Cruralis. Pflügers Archiv CX, S. 421.
Marey 1858. Ann. des sciences nat. 4. Serie, Zoologie, 8, S. 350.
Stewart, A. 1891. On some improvements in the method of graphically recording the variations in the level of a surface of mercury. Journal of physiology, XII, p 154.
Vierordt 1855. Die Lehre vom Arterienpuls.

Kapitel 10.

Andere Manometerkonstruktionen.

In diesem Kapitel bespreche ich eine Reihe von Konstruktionen, die wohl ihre allgemeinere Bedeutung jetzt verloren haben dürften. Vor allen Dingen ist hervorzuheben, daß keine einzige experimentell oder theoretisch soweit untersucht worden ist, daß man aus diesen Prüfungen ihre Leistungen auch nur oberflächlich beurteilen könnte. Selbstverständlich können sie auf Grundlage der entwickelten Theorie wohl ebenso vollständig wie die anderen Manometer behandelt werden. Vorläufig muß man sich mit einer aus den Grundzügen dieser Analyse entnommenen angenäherten Schätzung ihrer Leistungen begnügen.

Aus einem Teil der Kurven, die mit diesen verschiedenen Manometern aufgeschrieben worden sind, kann man einen angenäherten Aufschluß über ihre Schwingungsdauer erhalten, wenn Eigenschwingungen in den Kurven zu erkennen sind. Sie treten besonders bei dem Übergang des steilen Anstiegs der arteriellen Druckkurve in den allmählicher verlaufenden Teil auf und sind von vielen Autoren als den Kreislauf entstammende systolische Wellen[1]) bezeichnet worden. Ich habe in der Abhandlung „Arterienpuls“ eine Reihe von Messungen zusammengestellt, die ich an diesen Kurven ausgeführt habe. Danach hätte die Schwingungszahl betragen: Bei den Manometern von Chauveau und Marey (s. Kapitel 16) 12 bis 16, dem Fickschen Lufttonographen 17 (?), dem Fredericqschen Transmissionsmanometer (1888) 15, dem Hürthleschen Manometer 13 bis 16, dem Bayliss und Starlingschen optischen Manometer 13 bis 16 und dem Gartenschen Transmissionsmanometer 18.

A. Hohlfedermanometer.

Von Fick ist 1864 das Bourdonsche Metallmanometer, d. h. „eine hohle Messingfeder von flach elliptischem Querschnitt“, zur Verzeichnung der Blutdruckschwankungen verwendet worden. Es war das erste elastische Manometer, das für Blutdruckmessungen überhaupt konstruiert worden ist. Die Messingfeder bildet einen fast vollständigen Kreis. Sie streckt sich entsprechend der Vergrößerung des auf den Hohlraum wirkenden Druckes. Das Ende der Feder schlägt um einen bestimmten Betrag aus, der durch ein Hebelsystem — bei Fick eine komplizierte Einrichtung mit Geradführung — vergrößert aufgeschrieben wird. Obwohl Fick seinem Instrument ein großes, aus seinen weiteren Veröffentlichungen hervorgehendes Vertrauen geschenkt hat, waren die Leistungen, wie die Zukunft gelehrt hat, nur sehr gering. Die Aufzeichnungen der Druckschwankungen im Ventrikel, die Fick mit diesem Instrument vornahm, führten ihn zu ganz merkwürdigen Vorstellungen über die Druckverhältnisse im Kreislauf.

1) Über die Anfangsschwingung s. „Arterienpuls“.

v. Basch (1896) hat ein ähnliches Instrument für seine Methode zur Bestimmung des Blutdrucks beim Menschen verwendet.

Beer (1896) hat das v. Baschsche Manometer für Registrierung der Blutdruckschwankungen eingerichtet. Es ist wesentlich kleiner als das Ficksche Originalinstrument. Der Kreis der Hohlfeder hat etwa einen Durchmesser von 4,4 cm. Beer hat die Aufzeichnungen des Blutdrucks, die er mit diesem Instrument erhalten hat, verglichen mit den Registrierungen durch das Hürthlesche Federmanometer und gefunden, „daß sein Hohlfedermanometer dem bewährten Hürthleschen Apparat in keiner Weise nachstand, ja diesen mehrmals in bezug auf geringe Schleuderung zu übertreffen schien“, eines der vielen Beispiele für die Unsicherheit in der Beurteilung der Leistungen der Instrumente, die früher geherrscht hat.

Hürthle (1898) hat unter den von ihm ausgeführten Konstruktionen auch ein Hohl-Federmanometer gebildet. Der Durchmesser des Federkreises betrug ca. 3,7 cm. Die einzige Angabe, die er als zu einer Beurteilung des Instruments dienend macht, ist die, daß zur Erzielung von 100 mm Quecksilberdruck eine Flüssigkeitsverschiebung von 20 cmm erforderlich ist. Sonst fehlen alle Daten: Hebelmasse, Hebelvergrößerung, Masse der Hohlfeder, Dimensionen ihres Hohlraums usw. „Es gibt von der Druckschwankung in der Carotis dasselbe Bild wie das Torsionsfedermanometer.“

v. Recklinghausen benutzt ein Bourdonsches Manometer, wie v. Basch u. a. zur Messung des Blutdrucks beim Menschen (s. Teil II).

Abgesehen von der zuletzt genannten Verwendungsweise, bei der im wesentlichen statische Verhältnisse maßgebend sind, dürfte das Hohlfedermanometer trotz aller Verbesserungsversuche wesentlich hinter dem Flachfedermanometer usw. in seinen Leistungen für die Aufzeichnung der Blutdruckschwankungen zurückstehen, Man kann dies vor allen Dingen daraus schließen, daß die (unnütze) wirksame Masse der Flüssigkeit, die in den kapillaren Hohlraum der Feder eingeschlossen ist, sehr groß sein wird, weiter daraus, daß die Volumverschiebungen einen unnützen Elastizitätsfaktor erzeugen. Ferner kommt auch die Masse der metallischen Hohlfeder in Betracht. Theoretisch ist das System etwa wie eine träge Spiralfeder oder wie eine Luftsäule und dergl. zu behandeln.

B. Lufttonograph.

Von Fick (1883) ist zuerst, um die „direkte manometrische Methode des enormen Vorzugs der Mareyschen indirekten Methoden teilhaftig werden zu lassen“, empfohlen worden, die Manometerröhre mit Luft zu füllen. v. Frey (1893) hat ebenfalls, nachdem er mit voller Berechtigung auf die große Masse der Flüssigkeit in den Flüssigkeitsmanometern aufmerksam gemacht hatte, Luftfüllung für die engen Röhrenverbindungen in seinem Lufttonographen angewendet. Wenn auch die früher tatsächlich erreichten Leistungen der Flüssigkeitsmanometer zur Kritik herausgefordert haben, so wird man doch die Lufttonographen vorläufig nicht ausbauen, vor allen aus den in Kap. 4 S. 20 angegebenen Gründen.

C. Metallmembranmanometer.

Cowl (1890, auf den Vorschlag von Gad) und v. Frey (1899, Katalog von Zimmermann) haben Metallmembranmanometer angegeben. Bei ihnen

ist an der Stelle von Gummimembranen eine gewellte Metallmembran angewendet. Über ihre Qualitäten habe ich meine Ansicht in dem Kapitel 8 S. 40 geäußert. Nach Cowl sind „seine Eigenschwingungen nicht so ausgeprägt als bei dem Hürthleschen Gummimanometer“.

D. Differentialmanometer.

Hürthle (1891, S. 45) hat ein Differentialmanometer von sehr komplizierter Konstruktion angegeben. 1898 hat er, „da der früher beschriebene Druckdifferenzmesser ...... zu kleine Ausschläge gibt und mit 5 Gelenken versehen ist, die alle ohne toten Gang arbeiten sollen“, ein neues konstruiert, das im wesentlichen wie sein Torsionsmanometer gebildet ist. Angaben über die Leistungen des Instruments werden nicht gemacht.

Weit übertroffen werden die Leistungen dieser Hebelinstrumente sicher durch zweckmäßig eingerichtete Apparate mit optischer Registrierung. Cybulski (1885) hat bei seinem Apparat, der zur Bestimmung der Stromgeschwindigkeit des Blutes dienen sollte, ein optisches Differentialmanometer benutzt. Es wird in dem Kapitel 21 beschrieben. Das Instrument, das zur Aufzeichnung schneller Schwankungen von Druckdifferenzen ungeeignet ist, dürfte sich vorwiegend — stark gedämpft — für Bestimmungen der mittleren Druckdifferenzen empfehlen. Dasjenige Instrument, das in erster Linie befähigt ist, die Schwankungen der Druckdifferenz aufzuschreiben, ist ein optisches Differentialmanometer, bei dem die Druckdifferenz auf eine dünne Membran einwirkt. Es ist von mir (1898) für denselben Zweck, für den es Cybulski benutzt hat, nämlich zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit, angewandt worden. Ein auf Grund der neuen Theorie wesentlich verbessertes Modell ist jetzt — Ende 1909 — ausgeführt, aber noch nicht veröffentlicht worden. Seine Ausschläge werden durch Spiegel registriert.

E. Optisches Manometer von Bayliss und Starling.

Von Bayliss und Starling ist 1894 ein optisches Manometer angegeben worden, über dessen Leistungen in den vorhergehenden Kapiteln schon wiederholt berichtet worden ist. Der Hauptteil besteht aus einer an dem einen Ende geschlossenen Glaskapillare. Sie ist fast vollständig mit Luft erfüllt, nur in den offenen Anfang der Kapillare dringt die Flüssigkeit, die in Verbindung mit dem Blut steht, je nach den Druckschwankungen mehr oder weniger tief ein. Besonders in Kapitel 6 S. 35 habe ich nachgewiesen, daß dieses Instrument keine oder nur unwesentliche theoretische Vorteile vor dem Spiegelmanometer, dagegen wesentliche technische Nachteile ihm gegenüber hat.

F. Verwendung des Sphygmographen als Manometer.

Von Talma (1880) und Magnus (1896) ist eine sphygmographenähnliche Vorrichtung zu Druckbestimmungen in der Arterie benutzt worden. Der Apparat von Talma, „sein Tonometer“, besteht aus einer kanalförmigen Messingplatte, in welche die Arterie eingelegt wird. An die Arterie wird eine Pelotte angedrückt, deren Bewegungen mit Hebelvergrößerung aufgeschrieben werden. Talma erklärt: „Die Wand hat nur dann Tragkraft, wenn sie gespannt ist, wenn durch Außendruck die Form einer Arterie so

verändert wird, daß der Durchschnitt ein Rechteck statt eines Kreises ist, so ist die Wandspannung damit gleich 0 geworden und hat die verformende Kraft, statt der Wand den Blutdruck zu tragen." Diese Auffassung ist im Prinzip wohl richtig, wenn sie auch formell nicht elegant hier ausgedrückt worden ist (s. hierüber Kap. 4). Die Wirkungsweise des Sphygmographen ist ebenso von v. Frey, Petter und mir aufgefaßt worden. Aber man wird diese Methode jetzt nicht mehr zu Blutdruckmessungen an dem Tier verwenden. Dagegen dürfte ein guter Transmissionssphygmograph zur Registrierung der Form des Druckablaufs in den Gefäßen auch jetzt noch Bedeutung haben.

v. Basch 1896, s. Beer 1896.
Bayliss und Starling 1894, On the form of the intraventricular and aortic pressure curves obtained by a new method. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol.
Beer 1896. Ein neuer geeichter Apparat zur Messung und graphischen Registrierung des Blutdrucks. Zentralbl. f. Physiol. X, S. 329.
Cowl 1890, Über Blutwellenzeichner (Berliner physiol. Ges.). Archiv f. Anat. u. Physiol. S. 564.
Cybulski 1885, Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit des Blutes in den Gefäßen mit dem neuen Apparat: Photohämotachometer. Pflügers Archiv XXXVII, S. 382.
Fick 1864, Ein neuer Blutwellenzeichner. Gesammelte Schriften, Bd. III, S. 543.
Fick 1883, s. Kap. 4.
O. Frank 1898, Die Benutzung des Prinzips der Pitotschen Röhrchen zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit. Zeitschr. f. Biol. XXXVII, S. 1.
v. Frey 1899 (Katalog von Zimmermann. Leipzig).
v. Frey 1893, s. Kap. 4.
Hürthle 1891, Beiträge zur Hämodynamik, IV. Abhandlung. Pflügers Archiv XLIX, S. 29.
Hürthle 1898, Beiträge zur Hämodynamik, XI. Abhandlung. Pflügers Archiv LXXII, S. 566.
Magnus 1896, Über die Messung des Blutdrucks mit dem Sphygmographen. Zeitschr. f. Biol. XXXIII, S. 178.
Talma 1880, Eine neue Methode zur Bestimmung des Blutdrucks in den Arterien. Pflügers Arch. XXIII, S. 224.

Kapitel 11.

Experimentelle Bestimmung der Konstanten der Manometer.

Über den Zweck der theoretischen Erörterungen habe ich in Bd. I, 4 und Kap. 1 das Nötige gesagt. Sie dienen wesentlich dazu, eine Übersicht über die Leistungen der Instrumente und die Mittel zu ihrer Verbesserung zu erlangen. Im einzelnen Fall wird man sie nur zu einer Schätzung der Leistung eines bestimmten Instrumentes verwenden. Will man Kurven, die mit einem Instrument erhalten worden sind, korrigieren, oder will man aus einem anderen Grund die Leistungsfähigkeit genau feststellen, so muß man die wesentlichen Konstanten des Instruments experimentell bestimmen. S. 458 und 519 der „Kritik" habe ich das Verfahren angegeben, um die Eigenschwingungen der Manometer aufzunehmen. Es ist wichtig für die eben geschilderten Zwecke, dient aber auch unter Umständen dazu, um zu kontrollieren, ob ein Manometer im gegebenen Fall wirklich eine vorher

bestimmte oder angegebene Schwingungsdauer besitzt und ob nicht etwa eine Luftblase oder dergleichen die Leistungen des Instrumentes beeinträchtigt hat. Außerdem ist die Feststellung der statischen Konstanten erforderlich.

A. Feststellung der statischen Konstanten.

Die Eichung der elastischen Manometer, d. h. die Ermittelung der Empfindlichkeit führt man so aus, daß man einen bekannten Druck auf das Manometer wirken läßt und die Erhebung der Schreibspitze auf der Registrierfläche feststellt. Die Nulllinie wird dadurch erhalten, daß man die Anfangsstelle der Manometerröhre auf das Niveau der Stelle bringt, an der der Druck gemessen werden soll. Dann werden in bestimmten Druckintervallen etwa von 100 zu 100 mm Quecksilber bei arteriellen Manometern — die Ausschläge aufgeschrieben. Die nötigen Drücke kann man durch eine Pumpe (Radfahrpumpe) oder durch das Zusammenpressen eines Ballons einer Spritze oder dergl. erzeugen. Wenn man die Undichtigkeiten in dem System möglichst unschädlich machen will, so kann man wie Fick (1877, S. 595) schon angegeben hat, ein Luftreservoir einschalten (s. a. Lombard 1900). Ein zweckmäßiges Manometer für die Feststellung der erreichten Druckwerte ist das von Hürthle (1888 S. 420) beschriebene Eichungsmanometer.

Bei diesen Eichungen stören unter Umständen die Nachdehnungen der elastischen Manometer, besonders wenn ihre Membranen aus Gummi bestehen. Hürthle (1898 S. 588) glaubt bei diesen Instrumenten die Eichung dadurch korrekter zu gestalten, daß er sie dynamisch ausführt, d. h. er läßt das Manometer, nachdem eine bestimmte Druckstufe erzielt worden ist, eine oder mehrere Schwingungen ausführen, indem er auf den Gummibeutel des Eichungsmanometers rhythmisch drückt. Dann erst wird der Ausschlag verzeichnet. Eine derartige dynamische Eichung ist in der Technik schon längere Zeit im Gebrauch.

Um die verschiedenen Druckstufen ständig in den Kurven mit zu registrieren, verwendet Hürthle einen Ordinatenzeichner (1898, S. 576), mit dem man drei Druckstufen zu gleicher Zeit registrieren kann. An der älteren Manometerkonstruktion (1888) hatte Hürthle einen Abszissenschreiber fest angebracht.

Zu beachten ist, daß die Angaben der Quecksilbermanometer nicht immer zuverlässig sind. Fehler können durch ungleiche Weite der Manometerröhre hervorgerufen werden. Man kann sie durch eine Korrektionstabelle eliminieren. Auch können Unreinlichkeiten der Quecksilberoberfläche kleine Fehler bedingen.

Für die Bestimmung der Rückwirkung ist die Feststellung der Konstante E_K erforderlich, d. h. es ist die Volumverschiebung festzustellen, die an der Koppelstelle oder dem Anfang der Kanüle eintreten muß, um einen bestimmten Druck zu erzeugen, vorausgesetzt daß der Endquerschnitt festgestellt ist, also durch eine feste Wand verschlossen wird. Dieser Koeffizient ist gleich ∞, wenn das Röhrensystem vollständig mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllt ist. Nur wenn es elastische Faktoren enthält, wie bei dem Lufttonographen oder bei Schlauchverbindungen, Luftblasen usw. in dem Röhrensystem, ist er zu bestimmen. In den letzteren Fällen berechnet man den Koeffizienten am besten schätzungsweise.

B. Einheiten des Drucks.

Gewöhnlich mißt man den Druck nach Längeneinheiten einer Quecksilbersäule, in cm oder mm Quecksilber. Rationeller ist es, als Einheit die Dyne für einen Quadratzentimeter Fläche = Dyne/cm², zu wählen. 1 mm Hg entspricht 1332 Dynen/cm². Unter Umständen ist es auch vorteilhaft, den Druck in Zentimetern einer Wassersäule zu messen. 1 mm Hg = 1,36 cm H_2O · — 1 cm H_2O = 981 Dynen/cm².

C. Feststellung der dynamischen Konstanten.

Zur Ermittlung der dynamischen Konstanten, der fiktiven Masse und der fiktiven Dämpfung (s. Bd. I, 4) muß das Manometersystem in Eigenschwingungen versetzt werden. Das Manometersystem reicht von dem Anfang der Kanüle (der Koppelstelle) bis zu dem Registrierpunkt. Die Eigenschwingungen müssen so erzielt werden, daß einerseits sämtliche Massen dieses Systems mitschwingen, aber keine anderen hinzutreten. Ich habe zur Erzielung dieser Eigenschwingungen in der „Kritik" S. 457 und S. 519 besondere Vorrichtungen angegeben (s. Fig. 9 u. 10).

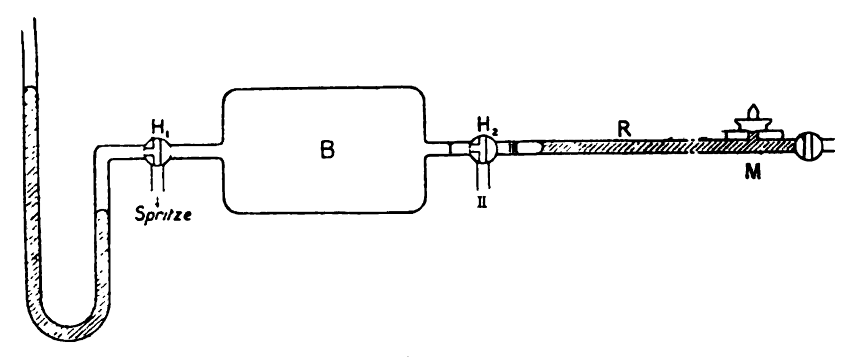


Fig. 9.
Apparat zur Bestimmung der Schwingungszahl eines Manometers.

Die Vorrichtung besteht im wesentlichen aus einem Glasballon B, der mit Luft gefüllt ist. Er wird abgeschlossen durch 2 T-Hähne H 1 und H 2. Durch den Hahn H 1 kann der Ballon entweder mit dem Quecksilbermanometer oder mit einer Luftspritze verbunden werden, durch den Hahn H 2 entweder mit dem Manometersystem oder mit der äußeren Luft. Der Versuch wird folgendermaßen ausgeführt: Der Druck in dem Manometersystem wird auf den äußeren Luftdruck gebracht. Dann wird in dem Ballon B zunächst ein bestimmter Druck durch den Spritzenkolben erzeugt. Hahn 2 schließt vorher das Manometer gegen den Ballon ab. Dann wird durch Hahn 1 auch das Quecksilbermanometer gegen den Ballon abgeschlossen. Nunmehr werden durch schnelles Drehen von Hahn 2 und plötzliche Verbindung des Ballons und des Manometerraums, die Eigenschwingungen erregt. Dann kann man wieder Schwingungen um die Nulllage durch Herstellung der Kommunikation des Manometerraums mit der äußeren Luft erregen. Neuerdings verwende ich statt des Metallhahns 2 einen Quetschhahn, der sich rascher öffnen läßt.

Ein Schlauchstück wird durch Zusammenpressen von zwei in Scharnieren sich drehenden Messingbalken zusammengedrückt. Das Ende des einen Messingbalkens ist durch einen Sperrhaken festgehalten. Wird der Sperrhaken gelöst, so springt der Balken von dem Schlauch ab und der Schlauch wird plötzlich geöffnet. Die Auslösung des Sperrhakens kann auch durch einen Elektromagneten besorgt werden, so daß die Eigenschwingungen an einer bestimmten Stelle der Registriertrommel automatisch in bekannter Art verzeichnet werden. (Öffnung des Stromschlüssels durch die Bewegung der Trommel.)

Um die Kanülen an diese Vorrichtung ansetzen zu können, müssen sie in einen kleinen Hilfsapparat eingefügt werden, der nach der „Kritik“ in der nebenstehenden Figur abgebildet ist. Die Kanüle wird durch einen Gummistopfen in den weiten Teil der kleinen Röhre eingesetzt. Dieser weite Teil ist mit der Flüssigkeit des Manometers angefüllt. (In der Abbildung schraffiert.) Das engere Ende der Röhre wird an der Stelle von Hahn 2 mit der obigen Vorrichtung verbunden. Der kleine Apparat verhindert, daß bei den Schwingungen Luft in die Kanüle eindringt oder Flüssigkeit aus ihr herausgelangt. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in der Hilfsvorrichtung ist so gering, daß sie kaum einen Einfluß auf die Schwingungsdauer ausüben kann. Selbstverständlich kann aber eine Korrektur für sie vorgenommen werden.

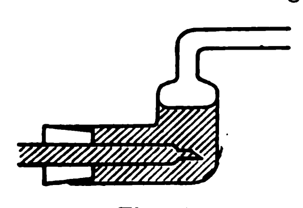


Fig. 10.
Hilfsapparat zum Anschluß der Kanüle an Apparat von Fig. 13.

Als Beispiel für eine derartige Aufnahme reproduziere ich Figur 4 der „Kritik“. Sie stellt Eigenschwingungen eines optischen Systems dar, die ziemlich stark abklingen.

Man mißt an derartigen Aufnahmen, die ebensogut mit Hebelinstrumenten gemacht werden können, die Schwingungsdauer durch Feststellung des zeitlichen Abstandes von zweien oder mehreren Umkehrpunkten, die auf derselben Seite der Gleichgewichtslage liegen. Das Dekrement wird gemessen durch Feststellung der Abnahme der Ordinatendifferenzen zweier Umkehrpunkte, d. h. der Schwingungsbogen (s. „Prinzipien“ Bd. I, 4).

Fig. 11.
Eigenschwingungen eines optischen Manometers.

Fick 1877. Ein neuer Wellenzeichner. Gesammelte Schriften III, S. 593.
O. Frank 1903. „Kritik“.
Hürthle 1888. Beiträge zur Hämodynamik. I. Abhandlung, Pflügers Arch. XLIII, S. 399.
Hürthle 1898. Beiträge zur Hämodynamik. XI. Abhandlung, Pflügers Archiv CXXII, S. 566.
Lombard 1900. A convenient form of pressure-bottle. (Amer. physiol. soc.) Amer. journ. of physiol. IV. p. III.

Kapitel 12.

Die Kanülen und die Röhrenverbindungen.

A. Kanülen.

Die Gefäßkanülen spielen bei genaueren Registrierungen eine große Rolle, da in ihnen im allgemeinen sich der Hauptteil der wirksamen Masse[1]) der Flüssigkeit befindet. Um über deren Größe unterrichtet zu sein, wird man am besten Metallkanülen verwenden, deren wirksame Masse man sicherer aus den Dimensionen bestimmen kann. So hat beispielsweise eine 2 cm lange Kanüle mit einem inneren Durchmesser von 2 mm eine wirksame Masse von 2:0,0314 = rund 63 Einheiten. Die Erweiterung der Kanüle, die zur Verbindung mit dem Röhrensystem des Manometers dient, spielt nur noch eine geringe Rolle für die Größe der wirksamen Masse. Damit auch die Unsicherheiten, die für die Bestimmung der Massenwirkung durch die Ver-

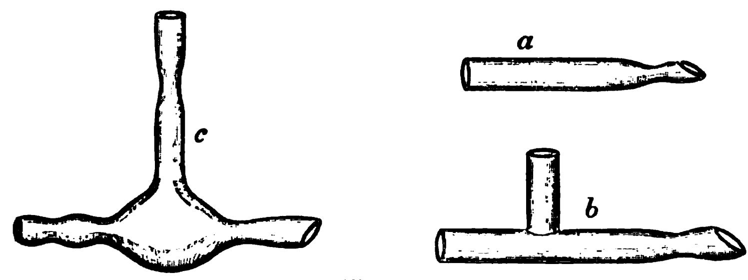


Fig. 12.
Arterienkanülen nach Marey.

wendung von elastischen Verbindungen beseitigt werden, wende ich jetzt bei genauen Druckregistrierungen eine starre Verbindung mit dem Manometer an. Die mit Hahn versehene Kanüle geht in einen Metallkonus aus, der auf einen Konus der Manometerröhre aufgeschliffen ist. Die Dichtung erfolgt durch Zusammenpressen dieser Koni. Die Verbindung ist so gestaltet, daß die beiden Koni um ihre Achse aufeinander gedreht werden können. Dadurch wird eine genügende Beweglichkeit gewährleistet. (S. Fig. 3b.)

Eine eigentümliche Kanüle hat Sadler (1869) für seine Versuche benutzt, bei denen er die Ausströmungsgeschwindigkeit des Blutes aus einer Vene bestimmte. Sie soll eine kontinuierliche Reinigung ermöglichen. Ein seitlicher Ansatz, durch den die Reinigungsflüssigkeit (Natriumkarbonat) einströmen kann, führt bis zu dem Lumen der Kanüle heran. Ich habe später und unabhängig von Sadler eine Kanüle angegeben, die im Prinzip ziemlich ähnlich konstruiert ist. Sie dient zur Entnahme von Lymphe aus den Lymphgefäßen und wird ständig mit gerinnungshemmender Flüssigkeit durchspült.

Zur leichten Reinigung hat Marey und François-Franck (Marey, Zirkulation S. 181) die Kanülen mit einer Seitenröhre versehen. Beachten muß man bei der Anwendung derartiger Kanülen (Fig. 12b, c), daß der Verschluß des Seitenrohrs durch Schlauch und Quetschhahn einen schädlichen und unnötigen Elastizitätskoeffizienten einführt.

1) Sie ist besonders groß bei Herzkathetern und verursacht hauptsächlich die großen Schwierigkeiten einer genauen Registrierung des Ventrikeldrucks.

Bardiers (1897) Arterienkanüle hat im graden konischen Hauptrohr einen durch eine Stopfbüchse gehenden konischen Obturator, und zwei Seitenröhren, deren eine mit dem Manometer verbunden wird, während die zweite zum Auswaschen, Füllen usw. bei verschlossenem Hauptrohr dient. (Nach Hermanns Jahresbericht.)

Hat man keinen für die Verbindung mit dem Manometer passenden Seitenast des Blutgefäßes zur Verfügung (s. d. Kap. über den arteriellen Druck Teil II), so muß man eine Seitendruckkanüle anwenden, wie sie zuerst von Ludwig und Mogk angegeben worden ist. Durch eine in das Gefäß geschnittene schlitzförmige Öffnung wird die Kanüle eingeführt. Die Ränder des Schlitzes werden durch die Schraube s zwischen den Platten p_1 und p_2 flüssigkeitsdicht eingeklemmt. Eine solche Kanüle ist in der neueren Zeit für die Messung des Drucks in der Pulmonalarterie benutzt worden. (S. Teil II Kap., „Kleiner Kreislauf".)

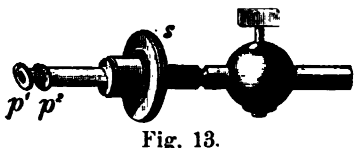


Fig. 13.
Seitenwandkanüle.

B. Die Röhrenverbindungen.

Die Röhrenverbindungen sind nach der Theorie weit zu halten. Diese Vorschrift gilt eigentlich allein nicht für das optische Manometer mit dem hohen Elastizitätskoeffizienten E′, weil hier die Kompressibilität der Flüssigkeit in der Verbindungsröhre den Vorteil weiter Röhrenverbindungen wieder aufhebt. (S. Kap. 6.)

Die rationelle Weite der Röhrenverbindung hängt also von der Kompressibilität der Flüssigkeit, dem Elastizitätskoeffizienten E′ und der wirksamen Masse der Flüssigkeit in der Kanüle ab. Der rationelle Querschnitt bemißt sich auf Grund einer Maximum-Minimum-Rechnung nach der Beziehung: $Q^2 = \frac{\sigma}{E' K M'}$, worin K die Kompressibilität der Flüssigkeit, E′ den Elastizitätskoeffizienten des Manometers und M′ die wirksame Masse der Flüssigkeit von dem spez. Gew. σ vor der Röhrenverbindung, also im wesentlichen in der Kanüle, bedeutet. Außer acht gelassen ist dabei die Vermehrung der wirksamen Masse in der Röhrenverbindung selbst, die durch ihre Kompressibilität bedingt wird. Dadurch wird nur ein minimaler Fehler in der Berechnung hervorgerufen. Für den rationellen Querschnitt wird die gesamte wirksame Masse in diesem Manometersystem, bestehend aus der wirksamen Masse der Flüssigkeit in der Kanüle und aus der Verbindungsröhre von der Länge L zu:

$$(2L\sqrt{\sigma K E' M'} + M').$$

Wie man sieht, ist der rationelle Querschnitt von der Länge der Verbindungsröhre unabhängig. Beträgt beispielsweise $E'\ 150 \times 10^6$ und die Kompressibilität der Flüssigkeit 50×10^{-12} (für Wasser!) und die wirksame Masse der Kanüle 75, so ist der rationelle Querschnitt 1,33 cm^2 und der Durchmesser 1,3 cm. Diese Zahlen treffen für das beste Spiegelmanometer etwa zu (s. Kap. 6). Für einen Elastizitätskoeffizienten $E' = 20 \times 10^6$ wird der rationelle Durchmesser der Röhrenverbindung bereits 2 cm. (Nach Kap. 8 derjenige des richtig konstruierten Hebel-Federmanometers.) Für niedrigere Elastizitätskoeffizienten kann die Röhrenverbindung geradezu beliebig weit gemacht werden.

Schlauchverbindungen sind im allgemeinen zu vermeiden. Das gilt besonders für die Manometer mit hohen Elastizitätskoeffizienten, wie das

Spiegelmanometer und das oben beschriebene Federmanometer. Denn durch sie wird die wirksame Masse der vor diesen Verbindungen in dem Röhrensystem enthaltenen Flüssigkeit um den Faktor $\left(1 + \frac{E'}{\psi}\right)$ vergrößert. (S. Kap. 2, S. 9.)

Konstanten derartiger Schlauchverbindungen sind von mir experimentell festgestellt worden. Gefunden wurde für eine möglichst kurze Schlauchverbindung durch einen Schlauch von 1,2 mm Wandstärke und 5 mm Lumen: $\psi = 150 \times 10^6$ ($\Psi = 8{,}2 \times 10^6$) und einen Schlauch von 3 mm Wandstärke und 4 mm Lumen: $\psi = 530 - 760 \times 10^6$ ($\Psi = 21 \times 10^6$). Eine einzige Schlauchverbindung der letzten Art verändert also die Schwingungszahl eines Federmanometers ($E' = 20 \times 10^6$) noch unwesentlich. Mehrere Schlauchverbindungen wirken bereits schädlich. Dagegen kann das Quecksilbermanometer mit der Kanüle durch mehrere Schlauchverbindungen verbunden werden. Denn die wirksame Masse in der Kanüle wird bei einem Quecksilbermanometer von $^1/_2$ cm Durchmesser und einem entsprechenden E' von 136000 (s. Kap. 9, S. 51) nur um $\frac{136}{150000}$ = ca. 1 ‰ erhöht, wenn eine Schlauchverbindung der ersten Art angewendet wird. Man kann also anstandslos 10 und mehr derartige Verbindungen anbringen, ohne daß die Schwingungsdauer des Quecksilbermanometers wesentlich erhöht würde, wenn man noch bedenkt, daß der größte Teil der wirksamen Masse des Quecksilbermanometers in dem Quecksilber steckt. Deshalb kann man bei Quecksilbermanometern eine Gliederröhre, wie sie von Moleschott vorgeschlagen worden ist, ohne wesentliche Schädigung der Leistungen des Manometers einschalten.

Fig. 14.
Gliederröhre nach Moleschott.

(S. u. A. Dittmar 1870 S. 22.)

Bei Manometern, die ein noch kleineres E' haben, etwa bei Venenmanometern, werden Schlauchverbindungen ziemlich irrelevant. Immerhin ist zu beachten, daß die Rückwirkung durch sie vergrößert wird.

Luftblasen sind immer zu vermeiden, da sie eine unnütze Einschaltung von Elastizitätskoeffizienten bedeuten. Man muß zu der Füllung ausgekochtes Wasser verwenden, um ihr Entstehen zu verhindern.

Bardier 1897, Nouveau modèle de canule à pression artérielle. C. R. d. l. Soc. Biol. p. 1025.
Sadler 1869, Über den Blutstrom in den ruhenden, verkürzten und ermüdeten Muskeln des lebenden Tieres. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. S. 189.
Dittmar 1870, Ein neuer Beweis für die Reizbarkeit der zentripetalen Fasern des Rückenmarks. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. S. 18.
Ludwig und Mogk 1844, Zeitschr. f. rat. Med.

Kapitel 13.

Der Sphygmograph.

Die Sphygmographie oder die Pulsschreibung umfaßt eigentlich zwei Methoden. Bei der einen würden die Querschnittsänderungen der Gefäße zu registrieren sein, die durch den Puls hervorgebracht werden. Es handelt sich also um eine im strengen Sinn bewegungsregistrierende Methode, die so arbeiten müßte, daß durch das Anlegen des Instruments keine Veränderung in der Bewegung hervorgebracht, also keine Rückwirkung erzeugt würde. Diese Methode ist systematisch überhaupt noch nicht ausgebildet. Soviel man jetzt zu übersehen vermag, können nur optische Registrierungen hierzu verwendet werden. Die Plethysmographie in ihrer reinen Form ist dieser Methode verwandt. Über die Verfahren, die als angenähert diesem Zweck dienend aufgefaßt werden können, wird in Teil II unter „Sphygmographie" abgehandelt. Dort werden auch einige besondere Methoden besprochen.

In diesem Teil erörtere ich vorzugsweise die Methode der Sphygmographie, die als kraftregistrierende aufzufassen ist. Bei ihr wird durch den Druck einer Pelotte die Spannung der Gefäßwand aufgehoben und der Apparat zeichnet im wesentlichen die Druckveränderungen auf, die in dem Gefäß stattfinden. Man kann fernerhin einen direkten Sphygmographen dieser Art und einen Transmissions-Sphygmographen (Kap. 17) unterscheiden.

A. Theorie des Sphygmographen.

„Das System des Sphygmographen gleicht theoretisch der Registrierkapsel eines Membran-Federmanometers. Der elastischen Membran analog wirkt die vom Blutdrucke prall gespannte Gefäßwand nebst den umliegenden Weichteilen; die mit Federdruck darauf gepreßte Pelotte entspricht der auf die Gummimembran aufgeklebten Platte. Damit ist der Grundgedanke der folgenden Analyse gegeben: Das System des Pulshebels reicht bis zu der Stelle, wo die aufzuzeichnenden Druckänderungen sich wirklich abspielen, d. h. bis zur Blutbahn, wie dies O. Frank für die Manometer begründet hat. Daher gehört zu diesem System nicht bloß der Sphygmograph selbst, sondern auch die Gefäßwand nebst den benachbarten Geweben." (Petter 1908, S. 336.)

Das System wird somit als ein kraft(druck)registrierendes aufgefaßt.

Die Theorie des Sphygmographen ist auf Grund der Machschen Gleichungen und der Frankschen Analyse der Hebelwirkung und des Federmanometers von Petter (s. hauptsächlich 1908) gründlich durchgearbeitet worden. Die allgemeine Gleichung für die Bewegung des Sphygmographen lautet:

$$p = (E + \mathfrak{E}) f_e + k \frac{d f_e}{d t} + m \frac{d^2 f_e}{d t^2} \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

(m = reduzierte Masse des Hebels sowie des übrigen Systems; Petter S. 345, Gleichung (9)).

Für die wichtigen Konstanten gibt Petter folgende Formeln an. Die Empfindlichkeit an der Pelotte f_e bemißt sich nach:

$$\gamma_e = \frac{f^e}{p} = \frac{R}{E + \mathfrak{E}} \quad \text{. . . . .} \quad (2)$$

In dieser Formel bedeutet R einen Reduktionsfaktor, der abhängt von der Größe der Berührungsfläche zwischen Pelotte und Gefäßwand. E ist der Elastizitätskoeffizient des Sphygmographen selbst. $\mathfrak{E}$ ist der Gesamtelastizitätskoeffizient der Gefäßwand und der benachbarten Gewebe. Wenn $E = O$ wird, so wird die Empfindlichkeit zu:

$$\gamma_e = \frac{R}{\mathfrak{E}} \quad \text{. . . . .} \quad (2a)$$

Das ist die Empfindlichkeit für einen isotonischen Pelottendruck, z. B. wenn die Feder durch Gewichte ersetzt wird. Aus der Diskussion der Bedeutung dieser Konstanten und der Empfindlichkeit folgert Petter einige wichtige Sätze. Er erklärt das Wachsen der Kurvenhöhe mit dem Pelottendruck dadurch, daß der Reduktionsfaktor R bei der stärkeren Kompression stärker anwächst als der Elastizitätskoeffizient $(E + \mathfrak{E})$ (s. Formel (2). $\mathfrak{E}$ bleibt für den ganzen Kompressionsbereich ziemlich konstant. Es ist aber vom Blutdruck abhängig, während bei dem Federmanometer die Elastizität der Gummimembran, welche hier dieselbe Bedeutung wie dieses $\mathfrak{E}$ hat, unverändert bleibt. Aus diesen Beziehungen lassen sich theoretisch die Momente ableiten, die eine Inkonstanz erklären, praktisch aber bedeutungslos werden können. Die Ordinaten der Kurve sind nicht vollständig proportional den Drucken. Petter stützt diese Überlegung durch eine analytische Darstellung der Beziehungen, die bei der Kompression eines unter Druck stehenden, nicht ausdehnbaren Gefäßes durch eine starre Fläche auftreten. Die interessanten Ausdrücke hierfür finden sich S. 341/42 der zitierten Abhandlung. Ferner folgert Petter aus der genaueren Diskussion der Beschaffenheit der das Gefäß umgebenden Weichteile, daß der Sphygmograph noch Kurven zeichnet, wenn die Arterie durch den Pelottendruck schon vollständig verschlossen ist. Weiter findet er, daß die Pelotte nicht viel breiter gemacht werden soll, als der Durchmesser des plattgedrückten Gefäßes beträgt.

Die Dauer einer Eigenschwingung des Sphygmographen beträgt bei Vernachlässigung der Dämpfung (Formel (11)):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{E + \mathfrak{E}}} \quad \text{. . . . .} \quad (3)$$

Eine Eigenschwingung ist nur möglich, solange:

$$k < 2\sqrt{m(E + \mathfrak{E})}$$

Die von einem Sphygmographen aufgeschriebenen Kurven lassen sich unter Umständen aus diesen Konstanten nach den „Prinzipien“ (s. Bd. I, 4) korrigieren.

Ein wichtiger Wert für die Beurteilung eines Sphygmographen, aus dem die Hinweise für eine Verbesserung dieser Instrumente abgeleitet werden können, ist die Güte. Sie bemißt sich zu:

$$G = \gamma_r \cdot N^2 = \frac{3}{4\pi^2} \cdot \frac{R^2}{\gamma_r \mu \cdot l(E + \mathfrak{E})} \quad \text{. . . . . . .} \quad (4)$$

μ = spezifische Masse für die Länge 1 des Hebels).

Dabei sind die nicht von der Übersetzung abhängigen Massen der Pelotte neben der reduzierten Masse des Hebels vernachlässigt, wie dies bei Hebelapparaten durchweg statthaft ist. Nach dieser Formel wächst die Güte in erster Linie mit R. Es ist also zweckmäßig, denjenigen Pelottendruck anzuwenden, der die größten Kurven gibt. Die Hebelübersetzung ist dann so einzurichten, daß bei diesem Pelottendruck die Kurven eben genügend hoch werden, da die Güte der Empfindlichkeit umgekehrt proportional ist. Der Hebel muß möglichst kurz sein (s. Bd. I, 4 „Hebel").

Wichtig ist ferner die aus der obigen Formel zu ziehende Folgerung, daß die Güte des Instruments bei einer Zunahme des Elastizitätskoeffizienten abnimmt, während man früher das Gegenteil angenommen und die kräftige Feder des Mareyschen Sphygmographen als einen Vorzug dieses Instruments angesehen hatte. Für die rationelle Konstruktion eines Sphygmographen ist einfach die Regel aufzustellen, daß man mit einer möglichst schwachen Hebelübersetzung und dem kürzesten, möglichst leichten Hebel auszukommen sucht. Daß dieser Bedingung am zweckmäßigsten durch Anwendung eines Doppelhebels genügt wird, hat Petter gezeigt (s. Bd. I, 4). Die Definition der reduzierten Masse hat sich gerade für die Analyse des Sphygmographen von der größten Bedeutung erwiesen. Nur die Auswertung dieser Größe ermöglicht, zu übersehen, an welchen Punkten eine Massenvergrößerung wesentlich schadet und an welchen Punkten sie gleichgültig ist. Bei dem rein empirischen, hauptsächlich von technischen Gesichtspunkten ausgehenden Verfahren, das man früher bei der Konstruktion des Sphygmographen befolgte, konnte ein rationelles Instrument natürlich nicht resultieren. Es wurde, da man blind dem Prinzip der Massenverkleinerung folgte, an Punkten angesetzt, wo es überhaupt nichts nützte. Die Masse der Pelotte der Feder und der diese mit dem Hebel verbindenden Teile wurde herabgesetzt, während dies für die Massenwirkung ganz gleichgültig ist und für die Festigkeit der Apparate einen wesentlichen Nachteil bildet.

Die Rückwirkung eines die Druckkurven annähernd richtig verzeichnenden Sphygmographen dürfte nicht sehr bedeutend sein, da sich die Kurven nicht wesentlich ändern, wenn man den Pelottendruck erhöht. Doch sind hier spezielle Untersuchungen noch notwendig.

Über das Pettersche Verfahren zur Prüfung der Leistungen der Sphygmographen siehe S. 82.

Alle anderen Prüfungsverfahren und theoretischen Analysen, die von verschiedenen Autoren angegeben worden sind, ermöglichen keine Feststellungen der Leistungen des Sphygmographen. Mitteilung über derartige Methoden finden sich in den Abhandlungen von Vierordt (1863), Rive (1866), Chabry (1885), v. d. Mühll (1892), Weiss und Philadelphien (1897) (letztere beiden sind zu ganz entgegengesetzten Resultaten über die Leistungen der verschiedenen Sphygmographen, des Jaquetschen und des Mareyschen gekommen), Baetke (1901). Von ihm werden die Kurven, gewonnen mit dem Jaquetschen Apparat, als unzuverlässig angesehen. Hermanns Jahresber. Vgl. a. Hoorweg (1889), Urban (1906).

B. Ältere Typen des Sphygmographen. Seine Handhabung.

Im folgenden beschreibe ich einige Typen von Sphygmographen. Es verlohnt sich selbstverständlich nicht, alle Modifikationen des Instruments

hier ausführlich zu behandeln. Keines der Instrumente ist von seinen Erfindern einer genügenden Prüfung unterworfen worden, wenn man von den Machschen Versuchen absieht. Auch diese können nicht unmittelbar zur Prüfung benutzt werden, sondern nur Fingerzeige abgeben, wie eine richtige Prüfungsmethode gestaltet sein müßte. Für manche Fälle kann die Regel, die v. Frey (1892) aufgestellt hat, einen gewissen Nutzen bieten, nämlich zuzusehen, ob sich die Pulskurven bei stärkerem Pelottendruck verändern. Allgemeine Bedeutung hat nur das Prüfungsverfahren, wie es von Petter ausgebildet worden ist. Das Verfahren wird unten beschrieben.

Ich übergehe hier den ältesten Sphygmographen von Vierordt. Seine Beschreibung findet sich außer in der Originalabhandlung 1855 in Hermanns Handbuch der Physiologie IV, 1, S. 256. Seine Güte ist so minimal, wie die von Petter zusammengestellte Tabelle (s. unten) zeigt, daß wohl niemand auf den Gedanken kommen wird, diese Konstruktion noch zu verwerten. Die Ergebnisse, die mit ihm erhalten worden sind, haben längere Zeit die weitere Entwicklung der Pulslehre verhindert; die von ihm

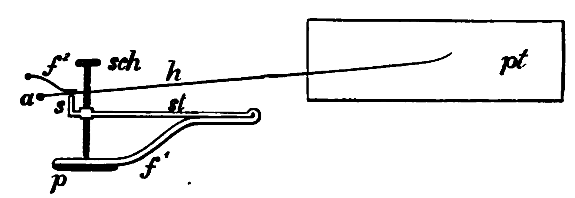


Fig. 15.
Schema des Mareyschen Sphygmographen (älterer Typ).

registrierten Pulskurven sind nichts anderes als die durch Resonanz vergrößerten Eigenschwingungen des Apparates. Dasselbe gilt fast ebenso für den Landoisschen Angiographen (s. a. Sommerbrodt 1885). Beide sind Gewichtssphygmographen, d. h. die Pelotte wird durch ein Gewicht angedrückt. Wie Petter nachgewiesen hat, wären diese Systeme wohl zu verbessern, aber da sie unter keinen Umständen einen Vorteil vor den Federsphygmographen haben, gehören sie, wie Petter sagt, nunmehr wohl endgültig der Vergangenheit an. Daß eine Verbindung eines Federsphygmographen mit Gewichtsbelastung, wie sie Richardson angegeben hat, noch schlimmere Unzuträglichkeiten mit sich bringt, hat Petter S. 358 der „Leistungen“ überzeugend nachgewiesen.

Das älteste Instrument, mit dem man in großen Zügen brauchbare Kurven erhalten kann, ist das Mareysche. Marey hat zwei Konstruktionen angegeben, eine ältere vom Jahre 1860. Der Hauptteil dieser Konstruktion ist eine gebogene Stahlfeder, an deren Ende sich eine Pelotte befindet. Die Pelotte preßt und zwar mit einem durch einen Stellstift oder Exzenter veränderlichen Druck gegen die Arterie. Dieser Teil des Mareyschen Apparates kehrt in allen späteren Konstruktionen, mit Ausnahme der oben erwähnten und des Frank-Petterschen Sphygmographen, wieder. Das Pelottenende trägt eine Stange, an deren Ende eine Metallschneide befestigt ist. Auf ihr ruht, mit einer glatten Unterfläche leicht angedrückt, der Schreibhebel. Diese ältere Konstruktion ist von Marey vermutlich, weil es ihm

nicht gelungen war, ein Abschleudern des Hebels zu verhindern, und weil bei steileren Pulsen die Kurven ersichtlich durch Eigenschwingungen entstellt waren, durch eine andere ersetzt worden, die, empfohlen von der Autorität des Erfinders, ganz allgemein gebraucht wurde und als Standard-Instrument galt, an dessen Aufschreibungen sogar die Leistungen anderer Apparate, wie des Manometers etc. geprüft wurden. Es ist die sogenannte Marey-Behiersche Modifikation. Die Verbindung der Pelotte mit dem Hebel geschieht hier durch eine Art Zahnstangen-Zahnradverbindung. Die Stange, die auf der Pelotte aufsitzt, ist gezähnt, ihre Zähne greifen in ein auf der Achse des Hebels aufsitzendes Zahnrädchen ein. Wie ich (1903) und später Petter (1906 und 1908) nachgewiesen haben, stellt diese Konstruktion nicht eine Verbesserung, sondern eine wesentliche Verschlechterung des ursprünglichen Apparates dar. Die eigentümliche Verbindung zwischen Pelotte und Hebel erzeugt eine unregelmäßige Dämpfung, ein Hängenbleiben des Hebels an Punkten, die nicht der Gleichgewichtslage entsprechen. Petter hat dies noch durch Kurven, die nach seinem Prüfungsverfahren aufgenommen worden sind, ersichtlich gemacht (s. auch die Tabelle unten).

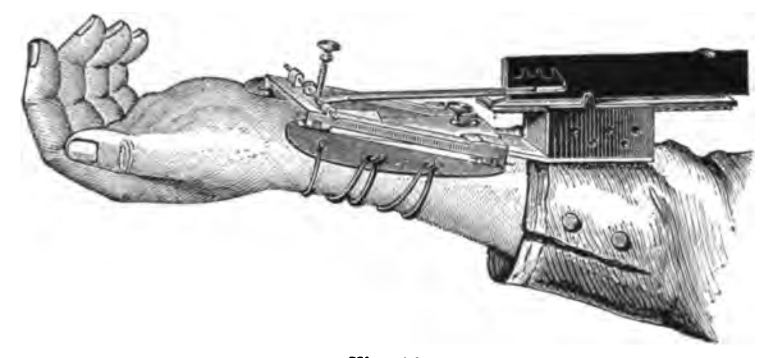


Fig. 16.
Mareyscher Sphygmograph an der Hand befestigt.

Marey läßt den Apparat durch Bänder, die von der Grundschiene des Apparates ausgehen, in der Weise an dem Vorderarm befestigen, wie aus der Abbildung zu ersehen ist. Der Hebel zeichnet seine Bewegungen auf einer Platte auf, die durch ein kleines Uhrwerk getrieben wird. Auch dieser Teil des Mareyschen Instruments ist bei allen später konstruierten Typen im Prinzip beibehalten worden. Bei dem v. Freyschen (1892) Sphygmographen, der sich gegenüber dem Mareyschen Instrument durch ein geringes Trägheitsmoment des Hebels auszeichnet, wird die Kurve auf eine kleine rotierende Trommel aufgeschrieben. Bei dem Dudgeonschen Apparat (weiter bei den ähnlich gebauten Jaquetschen und Frank-Petterschen Sphygmographen, s. unten) wird ein berußter Papierstreifen durch eine von dem Uhrwerk getriebene kleine Walze fortbewegt.

Statt der von Marey und anderen benutzten Bänder zum Aufbinden des Sphygmographen ist an dem Jaquetschen Instrument ein breiter Ledergurt zu diesem Zweck angebracht.

Daß die Bänder des Sphygmographen nicht zu fest einschnüren sollen, ist vielfach betont worden, besonders aber von Hirschmann (1894), der unter der Leitung Hürthle den Einfluß einer venösen Stauung auf die Aufzeichnungen festzustellen suchte. Daß man wegen der durch verschieden starkes Anziehen der Bänder etc. bewirkten Stauung aus dem Niveau der Pulskurve keine Schlüsse auf eine etwaige Änderung des Blutdrucks ziehen kann, ist selbstverständlich. Auf die Form der Pulskurve haben nach den Erfahrungen von Petter und mir diese Stauungen jedoch keinen Einfluß.

In technischer Hinsicht, nicht aber in den eigentlichen Leistungen werden die Mareyschen Apparate von der Dudgeonschen Konstruktion übertroffen. Die einzelnen Teile des Apparates sind vollständig anders angeordnet und zwar, wie sich später hauptsächlich durch die Frank-Petterschen Untersuchungen herausgestellt hat, in sehr günstiger Form. Die wesentliche Verschiedenheit des Apparates gegenüber dem Mareyschen besteht aber darin, daß Dudgeon einen Doppelhebel zur Vergrößerung der Pelottenexkursion angewendet hat. Die Hebelverbindung ist in der nebenstehenden Abbildung nach einer v. Freyschen Skizze (1892) wiedergegeben. An der Stelle P befindet sich an der Feder die Pelotte. Der erste winklig gebogene Hebel reicht von a bis d. Das Ende b greift mit einer Öse an dem zweiten Hebel F_2, dem eigentlichen Schreibhebel, an. Der Hebel soll durch ein Gewicht g an den linken Bogen der Öse angedrückt werden. An dem Ende des Hebels F_2 befindet sich, gelenkig mit ihm verbunden, die Schreibnadel, die auf der horizontal liegenden Papierfläche durch die Schwere angedrückt, die Pulskurven schreibt. Die Papierfläche wird durch ein kleines Uhrwerk in einer horizontalen Ebene senkrecht gegen die Bewegungsrichtung der Schreibnadel bewegt. Einen Hauptvorteil der Dudgeonschen Konstruktion erblicke ich in der bequemen Lagerung des Apparates. Die Hauptmassen des Apparates, insbesondere das Uhrwerk, liegen nahe dem Arm, so daß das Trägheitsmoment des ganzen Apparates für die Erschütterungen, die von dem Arm ausgehen, klein ist. Die Erzitterungen, welche die mit anderen Apparaten aufgenommenen Kurven zeigen, dürften wesentlich von der un-

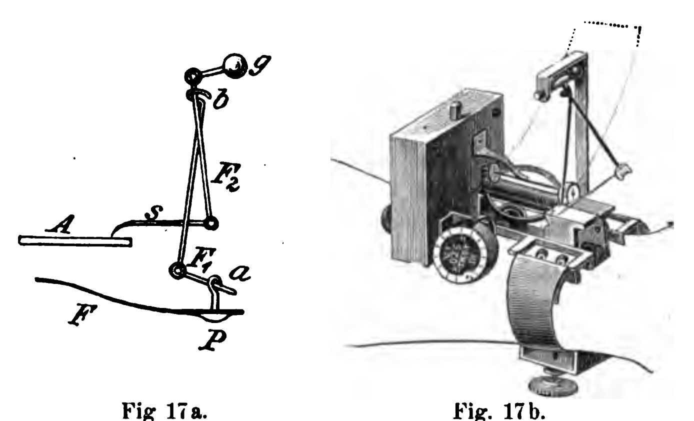


Fig 17a.
Sphygmograph von Dudgeon: Schema.

Fig. 17b.
Perspektivische Ansicht.

günstigen Verteilung der gesamten relativ bedeutenden Massen des ganzen Apparates bedingt sein. Verwendet man einen optischen Transmissionssphygmographen (Frank), bei dem man die Massen des Apparates, der auf dem Arm befestigt wird, sehr klein halten kann, so fallen diese Erzitterungen vollständig weg.

Der Jaquetsche Sphygmograph (1891) ist in der Hauptsache eine Wiederholung des Dudgeonschen. Bei dem Frank-Petterschen Sphygmographen ist die Anordnung des Uhrwerkes und der Schreibfläche ähnlich wie bei dem Dudgeonschen Apparat.

Einige nicht unwesentliche Verbesserungen erleichtern die Handhabung der Sphygmographen. So hat C. Ludwig die Schiene des Apparates, mit der er an den Arm festgebunden wird, von dem eigentlichen Instrument getrennt. Diese Verbesserung ist an allen neueren Instrumenten angebracht.

Ferner ist es erwünscht, wenn Zeitmarken auf der Pulskurve verzeichnet werden. Dies ist in der einfachsten Weise bei dem Jaquetschen Sphygmographen erreicht, bei dem durch eine mit der Unruhe eines besonderen Uhrwerks in Verbindung stehende Schreibnadel $^1/_5$ Sekunden markiert werden. Bei dem v. Freyschen Sphygmograpen wird die Zeitmarkierung durch einen kleinen Elektromagneten, der mit irgendeinem genau gehenden Unterbrecher verbunden ist, besorgt.

Hesketh (1908) hat einen Timemarker für den Dudgeon-Sphygmographen angegeben.

Mehrere Apparate sind angegeben worden, die zur Registrierung der Nagelpulse dienen sollen, so von Herz (1896), Laulanié (1898), Kreidl (1902).

François Franck (1890) hat zuerst ein derartiges Instrument angewandt. Es ist eine Art Gewichtssphygmograph. Herz (1896) hat den gewöhnlichen Dudgeon- oder Jaquet-Sphygmograph so modifiziert, daß er die Nagelpulse aufzeichnen konnte. Er nennt sein Instrument Onychograph. Der Apparat von Laulanié ist wiederum wie ein Gewichtssphygmograph konstruiert. Ähnlich ist auch der Castagnasche Onychograph (1901) gestaltet. Kreidl (1902) hat eine Vorrichtung angegeben, bei deren Anwendung die Extremitätenteile — Finger, Hand und Vorderarm — nicht so fest gelagert zu sein brauchen als bei den vorhergenannten. Der Finger wird zwischen eine Hohlrinne und eine auf einer Feder sitzende Pelotte eingeklemmt. Die Bewegungen der Feder werden durch einen Hebel aufgeschrieben, während gleichzeitig die Lage der Hohlrinne durch einen mit ihrem Gestell verbundenen Hebel angegeben wird. Die Entfernung der beiden Hebelspitzen soll auch die Volumveränderungen angeben.

C. Der Frank-Pettersche Sphygmograph.

Der Sphygmograph, der nach den Prinzipien der Theorie rationell konstruiert ist, ist der von Petter und mir 1907 veröffentlichte.

In erster Linie erstrebten wir die Realisierung der Hauptforderung der Theorie, die reduzierte Masse des Hebels möglichst zu verringern.

Die leitenden Grundsätze waren durch die vorhergehenden theoretischen Untersuchungen festgelegt: Der Schreibhebel mußte möglichst kurz sein.

Wenn hierbei die notwendige Hebelvergrößerung erzielt werden sollte, konnte dieser Forderung durch das bei dem Dudgeonschen Sphygmographen oder dem alten Fickschen Flachfedermanometer angewandte Prinzip der abgestuften, auf zwei Hebel verteilten Vergrößerung der Pelottenbewegung entsprochen werden. Bei den früheren Konstruktionen war dieser Vorteil nicht erkannt und daher nicht ausgenutzt worden.

Es ähnelt daher die Grundform unseres neuen Modells dem Dudgeonschen Sphygmographen. Wesentlich unterscheidet es sich jedoch dadurch, daß die sämtlichen Teile des Hebelapparates den Bedingungen gemäß, welche die Theorie zur Erzielung einer korrekten Aufzeichnungsweise fordert, konstruiert worden sind. Nach der Theorie soll die Masse so gering als möglich sein; aber auch zu große Elastizitätskonstanten und Reibungskon-

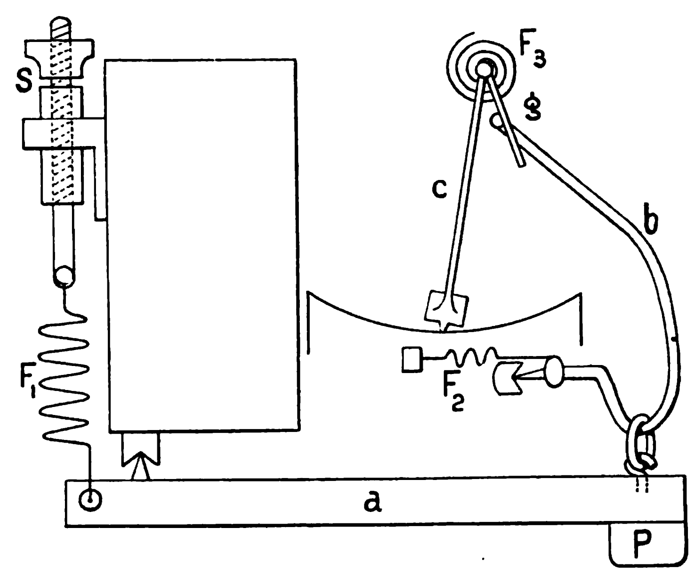


Fig. 18a.
Sphygmograph Frank - Petter: Schema.

stanten können schädlich wirken (Petter 1908). Die Befolgung dieser Prinzipien erforderte eine durchgreifende Umkonstruktion aller Teile des Apparates, so daß auch äußerlich das Bild des neuen Sphygmographen wesentlich von dem Dudgeonschen und Jaquetschen abweicht.

Die Forderung der Theorie, den Elastizitätskoeffizienten der Vorrichtung, die das Hebelsystem des Sphygmographen an die Arterie andrückt, gewöhnlich in einer Flachfeder mit einer Pelotte bestehend, möglichst klein und gleichmäßig, d. h. isotonisch, wirkend zu gestalten und doch den nötigen Druck von 100 bis 300 g zu erzielen, führte zu einer vollständigen Umgestaltung dieses Teils. Die bis jetzt bei den Sphygmographen verwendete Flachfeder genügt keiner dieser Forderungen ausreichend. Außerdem wird bei der zur Erzeugung verschiedener Pressungen gegen die Arterie benutzten Vorrichtung, einer Stellschraube (Mareyscher Sphygmograph) oder

eines Exzenters (Dudgeon, Jaquet), die Konstante der Feder in unkontrollierbarer Weise verändert und durch die Verbiegungen der Feder die Lage der Pelotte so verschoben, daß sie bei den letztgenannten Instrumenten ein besonderes Gelenk erhalten mußte.

Die Pelotte P wurde deshalb an dem langen Hebelarm eines starren Hebels a befestigt (s. d. Fig.), während an dem kurzen Arm eine passend gewählte Spiralfeder F_1 wirkt. Der Drehungspunkt des Hebels liegt an dem Teil des Gestells, der das Uhrwerk trägt. Das Verhältnis der beiden Hebearme ist 1:10; der Druck, den die Pelotte ausübt, ist demnach der 10. Teil des Zuges der Feder am anderen Ende; der Elastizitätskoeffizient an der Pelotte ist aber bloß der 100. Teil desjenigen der Feder. Man erhält also auf diese Weise genügend großen Druck bei niedrigem Elastizitäts-

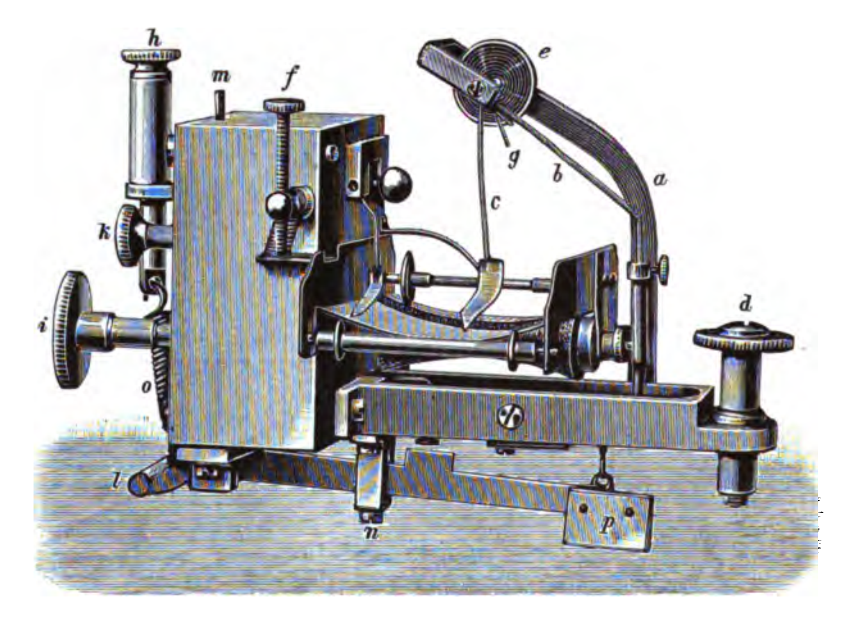


Fig. 18b.
Sphygmograph von Frank-Petter: Perspektivische Ansicht.

koeffizienten. Die Spannung der Feder kann durch eine Schraube S sehr genau und stets kontrollierbar verändert werden, ohne daß die oben gerügten Übelstände eintreten. Vermutlich hat man früher eine derartige Vorrichtung nicht angewendet, weil man sich sklavisch an das Prinzip der Verringerung der „Masse“ der beweglichen Teile gehalten hat, ohne daß man sich über die Bewertung der Massen in dem System klar geworden wäre. Die Schaffung des Begriffs der reduzierten Masse hat sich hier als notwendig und fruchtbar erwiesen.

Durch unsere Pelottenkonstruktion ist der Forderung eines möglichst kleinen Elastizitätskoeffizienten und einer leicht zu ändernden Pressung der Pelotte gegen die Arterie Genüge geleistet.

Die Bewegung der Pelotte wird durch den Doppelhebel b und c, der ziemlich ähnlich wie bei dem Dudgeonschen Instrumente gelagert ist, passend vergrößert. Wie wir durch vielfältige Versuche (s. unter D) festgestellt haben, ist die Reibung dieser Achsenlagerungen und der entsprechenden Gelenkverbindungen der Hebel untereinander sehr groß und die dadurch bedingte Entstellung der aufgeschriebenen Kurven wesentlich, wenn man nicht das Prinzip der freien Achsen oder Gelenkverbindungen anwendet. Zum Teil, aber in vollständig ungenügender Weise, ist dies schon bei der Dudgeonschen Konstruktion geschehen. So mußten wir die Lagerung des Pelottenhebels frei gestalten, ebenso die Lagerung des ersten Vergrößerungshebels b, die eigenartige Gelenkverbindung zwischen diesen beiden Hebeln, die Gelenkverbindung zwischen den beiden Vergrößerungshebeln a und b, die durch ein besonderes, an derselben Achse mit dem Vergrößerungshebel angebrachtes glattes Gleitstäbchen g bewirkt wird, während es sich nicht notwendig erwies, die Achse des zweiten Vergrößerungshebels frei zu lagern. Die Lager sind in Büchsen eingeschlossen, so daß die Hebel nicht ausspringen können. Um die entsprechenden, auch den Trägheitskräften die Wage haltenden Auflagerungsdrucke zu erhalten, sind — abgesehen von der Hauptfeder 1 — die beiden Federn 2 und 3 angebracht; die Feder 2 ist eine schwache Spiralfeder, die Feder 3 eine vorzüglich wirkende Flachspirale, die als Ersatz für die Kugel des Dudgeonschen Apparates dient. Selbstverständlich wird der Totalelastizitätskoeffizient an der Pelotte von den Federn F_2 und F_3 mitbestimmt. Deshalb ist insbesondere F_3 möglichst weich gebildet in der beschriebenen Form.

Durch diese Einrichtungen ist der theoretischen Forderung der minimalen Reibung und, was vielleicht noch wichtiger ist, der regelmäßigen Reibung Genüge geleistet. (Kein Hängenbleiben!) Die Reibung auf dem Papier kommt selbst bei unserem mit minimaler Reibung arbeitenden Apparat vergleichsweise nicht in Betracht. Sie ist außerdem regelmäßig.

Die technischen Schwierigkeiten bei der Bildung dieser Teile waren ziemlich groß. Die größte Mühe verursachte aber die Erfüllung der Hauptforderung nach einer wesentlichen Verringerung der reduzierten Masse. Bei dem Dudgeonschen Sphygmographen wird der Vorteil der doppelten Hebelübertragung und des kurzen Schreibhebels wieder vollständig aufgehoben durch die große Masse des Hebels und vor allem durch die Konstruktion der Hebelspitze. Sie besteht in einer gelenkig mit dem Hebel verbundenen Metallnadel. Das Trägheitsmoment der Hebelspitze ist so bedeutend, daß wir diese Konstruktion nicht beibehalten konnten.

Auf die Stirnschreibung konnte wegen der Kürze des Hebels nicht verzichtet werden. Wir sind daher zu folgender Einrichtung gekommen. Der Hebel besteht aus einem 0,6 mm dicken Aluminiumdraht, der am unteren Ende gabelig gespalten ist. Die Gabel dient zur Vernietung des unteren Hebelendes mit einer Papierschreibspitze. Die Schreibspitze ist zur Vermeidung größerer Reibung auf dem Papier nicht senkrecht zur Bewegungsrichtung wie bei dem Dudgeonschen Instrument, sondern in diese Richtung selbst gestellt. Die Achse des Hebels steht senkrecht über der Mitte des Papierstreifens. Damit der Hebel mit annäherndem gleichmäßigem Druck und somit mit gleichmäßiger Reibung zeichnet, wird der berußte Streifen gegen

die Achse zu hohl gebogen. Durch eine passende Unterlage und geeignete Führung ist erreicht, daß die Krümmung während der Bewegung des Papiers erhalten bleibt. Die Berührung der Schreibspitze mit dem Papier wird dadurch reguliert, daß die Unterlage, auf dem das Papier läuft, durch eine Schraube der Spitze angenähert werden kann. So zart der Hebel gebaut ist, so leicht bleibt er funktionsfähig. Er ist zudem vor Verletzungen durch starre Metallteile sehr gut geschützt.

Der erste Vergrößerungshebel b ist, wie aus der Figur ersichtlich, einarmig und winklig geknickt. Er besteht aus einem 1 mm dicken Stahldraht. Die Pelottenexkursion wird durch ihn allein fünfmal vergrößert. Die Gesamtvergrößerung beträgt im allgemeinen 50. Sie kann jedoch durch eine einfache Vorrichtung, die unserem Sphygmographen nebenbei noch einen besonderen Vorzug verleiht, von 25 bis auf 80 variiert werden.

Die Hebelvergrößerung braucht bei unserem Apparat vergleichsweise nicht so groß zu sein, weil andere Apparate mit steiferen Federn arbeiten, deren Anwendung die Empfindlichkeit herabdrückt. Er zeichnet bei 50facher Vergrößerung ebenso hohe Kurven wie der Jaquetsche bei 100facher. Sie sind äußerst gleichmäßig, von Erzitterungen frei. Die Handhabung des Apparates ist sehr einfach.

Die reduzierten Massen der einzelnen Teile belaufen sich bei 50facher Hebelvergrößerung auf:

Reduzierte Masse von Druckhebel und Pelotte	2 g
Erster Vergrößerungshebel	3 g
Gleitstäbchen	1,5 g
Zweiter Vergrößerungs- oder Schreibhebel . .	20 g

also im ganzen auf 25 bis 30 g (bei 25facher Vergrößerung 11 g, bei 80-facher 70 g).

Zum Vergleich seien die reduzierten Massen einiger anderer Sphygmographen angeführt: Dudgeon, Marey 500, Jaquet 2000, v. Frey 300.

Die übrigen Konstanten siehe unter D.

Der Elastizitätkoeffizient, der durch die Spirale F_1 und die beiden anderen Druckfedern bestimmt wird, beträgt bei unserem Instrument ca. 100000 (beträchtlich weniger als bei den früheren Konstruktionen). Er verschwindet gegenüber dem Elastizitätskoeffizienten der Haut und der Weichteile, der sich auf 1000000 bis 2000000 beläuft. Durch die Elastizitätskoeffizienten und die soeben angegebene reduzierte Masse wird die Schwingungszahl des Hebelsystems auf der Arterie, die Zahl der wegen der Wirkung des Hautpolsters stark gedämpften Eigenschwingungen in der Sekunde, zu 30 bis 40 bestimmt, während sie bei den anderen Sphygmographen im besten Fall 12 ist.

Durch die Höhe der Schwingungszahl und durch die gegenüber anderen Sphygmographen verschwindend geringe Reibung wird unser Sphygmograph befähigt, alle Pulsformen, wie sie in der Radialis des Menschen vorkommen, getreu aufzuzeichnen. Eingehend experimentelle und theoretische Prüfungen und zahlreiche Anwendungen bei dem Menschen haben uns hierüber Gewißheit verschafft.

Neuerdings hat Jaquet (1910) sein Instrument einer vollständigen Umkonstruktion unterzogen, indem er alle hauptsächlichen technischen

und theoretischen Verbesserungen unseres Sphygmographen **übernommen hat.** Seine Abhandlung wird durch eine Polemik gegen meine Theorie eingeleitet, die er dann aber ebenso wie das Pettersche Prüfungsverfahren als Grundlage für seine Konstruktion verwertet.

D. Prüfungen der Leistungen der verschiedenen Sphygmographen.

Petter hat die Leistungen der verschiedenen Sphygmographen einer eingehenden experimentellen und theoretischen Prüfung unterzogen (1908, S. 354 ff.). Hierzu war nötig die Feststellung der Elastizität des Gefäßhautpolsters. Petter ist es gelungen, durch ein sinnreiches Verfahren diese Konstante annähernd abzuschätzen. Bei einer mittleren Kompression des Gefäßes mit einer Pelotte von $1{,}0 \times 0{,}5$ cm Grundfläche und normalem Blutdruck erhielt er einen Wert von 1,0 bis $1{,}5 \times 10^6$ Dyn/cm². Außerdem bestimmte er den Reduktionsfaktor R zu etwa 0,3 bis 0,8 cm². Dann ermittelte er die Konstanten der Haupttypen. Sie sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Die Konstanten verschiedener Sphygmographen.

Modell	Güte in 10^{-5}	N	γ_r in 10^{-5}	m g	E in 10^6	$E+\mathfrak{E}$ in 10^6	K in 10^3	w g	P g	v
Vierordt	2,4	1,3	1,5	8000	0	0,5	—	—	belieb.	25—40
Landois	38	3,9	2,5	2500	0	1,5	—	—	„	70
Marey, 1. Modell .	300	13,0	1,8	300	0,6	2,0	6—20	5	—	50
Marey-Béhier . .	150	9,3	1,8	450	0,1	1,5	6—24	6	180	60
Riegel	250	11,3	2,0	300	0,1	1,5	—	—	—	70
v. Frey	360	11,0	3,0	450	0,5	2,0	9—35	2,5	700	90
Dudgeon	150	9,2	1,8	450	0,2	1,5	4—20	0,5	150	50
Richardson . . .	40—60	5,3 bis 9,2[1]	1,5 bis 0,7[1]	1500 b. 500[1]	0,2	1,5	—	—	100	50
Jaquet	150	7,0	3,0	2000	3,0	4,0	35 bis 100	5	250	100 bis 140
Frank-Petter . .	3000	32,0	3,0	25	0,1	1,0	0,5—3	0,1	700	50

Güte $= \gamma\ N^2$; N = Schwingungszahl pro Sekunde (auf der Arterie); γ_r = maximale Empfindlichkeit; m = reduzierte Masse; E = Elastizitätskonstante des Sphygmographen allein; $E + \mathfrak{E}$ = do. auf der Arterie; K = Dämpfungskonstante (Sphygmogr. allein); w = Kraft, mit welcher der Hebel in der Ruhelage hängen bleibt; P = maximaler Pelottendruck in g Gewicht; v = Hebelübersetzung.

Aus den interessanten Bemerkungen Petters über die Leistungen dieser verschiedenen Instrumente ist einiges besonders hervorzuheben. Über die Instrumente, die den von Marey erdachten Typus haben, spricht er sich wie folgt aus: „Es ist interessant, daß das erste Modell Mareys von keinem späteren, mit Ausnahme des Frankschen, an Güte wesentlich übertroffen, von mehreren sogar bei weitem nicht erreicht wird. Diese Tatsache, sowie die ca. 10fache Erhöhung der Güte beim Frankschen Apparate als Ergebnis der theoretischen Durcharbeitung, beweist die Unzulänglichkeit der bisherigen, wesentlich empirischen Arbeitsweise; alle Verbesserungen waren

1) Je nach dem Pelottendrucke (erste Zahl für maximalen Pelottendruck).

nur technischer Natur, in Hinsicht auf die Güte oft bedeutende Mißgriffe. Auch das spätere fast allgemein als Standardinstrument angenommene Modell Mareys steht an Güte hinter dem ersteren weit zurück." Das zweite Mareysche Modell mit der Zahnstangenübertragung ist technisch sehr ungünstig konstruiert, weil seine Reibung äußerst unregelmäßig ist. Der Hebel bleibt leicht hängen. Nach Petter waren für die Anwendung des Doppelhebels bei den Konstruktionen der Instrumente von Dudgeon, Richardson und Jaquet lediglich Rücksichten auf die kompendiöse Gestaltung des Instruments maßgebend, „und in dieser Hinsicht muß die Erfindung Dudgeons als vielleicht die bedeutendste Verbesserung seit Marey anerkannt werden. Ein Blick auf die Konstanten läßt aber erkennen, daß die Vorteile dieses Systems (s. S. 77) bei weitem nicht ausgenutzt sind." Die Leistungen dieser Systeme sind von Petter im einzelnen erschöpfend behandelt. Das von Petter und mir konstruierte Instrument unterscheidet sich nicht bloß in der vollständigen Ausnutzung der theoretischen Ergebnisse, sondern auch in wesentlichen technischen Einzelheiten von diesen Modellen. Ich erwähne hier nur den Ersatz der technisch höchst unvollkommenen Feder durch den Pelottenhebel, und ferner die konsequente Anwendung des Prinzips der freien Achsen.

Petter hat außer dieser an sich zureichenden Feststellung der wesentlichen Konstanten der Instrumente noch ein besonderes experimentelles Prüfungsverfahren angewendet, das höchst anschaulich die Leistungen der verschiedenen Sphygmographen demonstriert. Daß das ursprüngliche Dondersche Verfahren auf falschen Voraussetzungen beruht, ist schon in Bd. I, 4 auseinandergesetzt worden. Bei dem Dondersschen Verfahren wird geprüft, ob eine bestimmte dem Apparat erteilte Bewegung von ihm richtig aufgezeichnet wird. Die Kurve dieser Bewegung bildet den Rand eines Rades. Auf ihm schleift die Pelotte des Sphygmographen. Aber bei diesem ursprünglichen Dondersschen Verfahren wird die aufgezwungene Kurve nur dann nicht richtig registriert, wenn die Pelotte abgeschleudert wird. Das ist erst dann der Fall, wenn die Rückwirkung negativ geworden ist, d. h. wenn die Trägheitskräfte des Systems den Pelottendruck überwiegen. In großen Zügen kann dies Verfahren wertvoll gemacht werden, wenn man, wie es Petter tut, die Elastizität des Hautgefäßpolsters berücksichtigt und eine dieser Elastizität entsprechende Feder zwischen das Rad und die Pelotte einschaltet. So kommt man zu einer anschaulichen Darstellung der Abweichungen, welche die von den verschiedenen Instrumenten aufgezeichneten Kurven gegenüber den ursprünglichen aufweisen. (Petter 1908, S. 365—376.) Das Schlußurteil von Petter lautet: „Daß sämtliche Sphygmographen, außer dem Frank-Petterschen speziell auch der gegenwärtig so viel verwendete Jaquet, zur Ermittlung der Form des Radialpulses sowie für genauere zeitliche Auswertung der Kurven durchaus unzuverlässig und ungenügend sind".

Bei keiner Methode hat sich der Autoritätsglaube so gerächt als bei der Sphygmographie.

Bätke 1901. Experimentelle Prüfung des Jaquetschen Sphygmochronographen. Dissert. Rostock.
Castagna 1901. Wien. klin. Wochenschr. Nr. 44.

Chabry 1885. Contribution à la théorie de la sphygmographie. Journ. d. l'anat. et d. l. physiol. S. 181.
François Franck 1890. Étude du pouls total des extremités au moyen d'un sphygmographe volumétrique. Arch. d. physiol. norm. et pathol. S. 118.
O. Frank 1903. Die Registrierung des Pulses durch einen Spiegelsphygmographen.
O. Frank und Petter 1907. Ein neuer Sphygmograph. Zeitschr. f. Biol. Bd. 49, S. 70.
v. Frey 1892. Die Untersuchung des Pulses.
Herz 1896. Ein Onychograph. Zentralbl. f. Physiol. X, S. 143.
Hesketh Biggs 1908. Timemarker attachment for Dudgeons Sphygmograph. Lancet Vol. 174. S. 797.
Hirschmann 1894. Über die Deutung der Pulskurven beim Valsalvaschen und Müllerschen Versuch. Pflügers Arch. 56, S. 389.
Hoorweg 1889. Über die Blutbewegung in den menschlichen Arterien. Pflügers Arch. 46, S. 115.
Jaquet 1891. Studien über graphische Zeitregistrierung. (Physiol. Institut Basel.) Zeitschr. f. Biol. XXVIII, S. 1.
Jaquet 1910. Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte Nr. 3.
Kreidl 1902. Ein neuer Apparat zur Aufnahme von Nagelpulsen. Zentralbl. f. Physiol. 16, S. 257.
Laulanié 1898. Sur un sphygmographe digital. C. R. d. l. Soc. Biol. S. 961.
Marey 1859. Du pouls et des bruits vasculaires. Journ. d. l. physiol. II, S. 420.
Marey 1860. Recherches sur l'état de la circulation d'après les caractères du pouls fournis par un nouveau sphygmographe. Journ. d. l. physiol. S. 241.
v. d. Mühll 1892. Die quantitative Pulsanalyse mit dem Sphygmochronographen von Jaquet und ihre Verwértung zu diagnostischen Zwecken. Deutsch. Arch. f. klin. Med. XLIX, S. 438.
Petter 1906. Kritische Studien zur Entwicklung des Sphygmographen. Inaug.-Dissert. med. Fak. Gießen.
Petter 1908. Die Leistungen des Sphygmographen. Zweite Abhandl. Spezielle Kritik der Sphygmographen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 51, S. 354.
Philadelphien 1897. Quelques observations sur les sphygmométrographes. C. R. d. l. Soc. d. Biol. S. 537.
Rive 1866. De sphygmograf en de sphygmographische curve. Utrecht.
Schliep 1880. Der Dudgeonsche Sphygmograph. Berl. klin. Wochenschr.
Sommerbrodt 1885. Über eine verbesserte Schreibvorrichtung für meinen Sphygmographen. Zeitschr. f. klin. Med. X, S. 193.
Urban 1906. L'analyse des sphygmogrammes. Journ. Physiol. Pathol. gén. Paris T. 8, S. 398.
Vierordt 1855. Die Lehre vom Arterienpuls.
Vierordt 1863. Die Anforderungen an den Sphygmographen. Arch. d. Heilk. IV, S. 513.
Weiss 1897. Sur la comparaison des tracés obtenus à l'aide d'appareils enregistreurs différents. C. R. d. l. Soc. Biol. S. 359.

Kapitel 14.

Theorie der Lufttransmission.

Durch die Lufttransmission sollen Bewegungen registriert werden und zwar dadurch, daß sie durch ein mit Luft gefülltes Röhrensystem auf eine elastische Membran oder einen Kolben übertragen werden, deren Ausschlag durch einen Schreibhebel oder durch optische Mittel vergrößert aufgeschrieben wird.

Man kann zweierlei Arten der reinen Lufttransmission unterscheiden. Bei der einen werden Volumverrückungen, die an irgendeiner Stelle des

beobachteten Systems stattfinden, der Luft mitgeteilt und dadurch auf die Registrierkapsel, eine Kolben- oder Membrankapsel, übertragen. Ich nenne sie Volum-Lufttransmission. Eine derartige einfache Lufttransmission stellt z. B. das gewöhnliche kardiographische Verfahren dar, bei dem ein Trichter auf die Brustwand aufgesetzt und durch einen Schlauch mit der Registrierkapsel verbunden wird.

Die zweite Art der Lufttransmission ist die lineare Lufttransmission. Hierbei wird zunächst die Bewegung eines Punktes des beobachteten Systems auf die Membran oder den Kolben einer Kapsel übertragen und von dort, wie in dem ersten Verfahren, weiter geleitet. Während bei dem ersten Verfahren nur eine Volumübersetzung an dem Endquerschnitt vorhanden ist, ist bei dem letzteren noch außerdem eine Volumübersetzung an dem Anfangsquerschnitt vorhanden. In beiden Fällen ist die Luft am Anfang des Systems in einem besonderen Trommel- oder Kapselraum abgeschlossen. Man kann die letztere Trommel oder Kapsel als die Sender- oder Geberkapsel bezeichnen, während die Kapsel am Ende des Systems als Registrierkapsel bezeichnet wird. Die Bewegungen der Koppelstelle können bei der linearen Lufttransmission schon durch Hebelvergrößerung der Geberkapsel vergrößert mitgeteilt werden.

Die Analyse dieser Verfahren ist die komplizierteste der ganzen Theorie der Registrierinstrumente. Vor allem sind die Schwingungen der Luft in der Röhre, deren Enden durch elastische Wände verschlossen sind, sehr schwierig zu behandeln. Man kommt allein zum Ziel, wenn man die Systeme als stehende Wellensysteme auffaßt, also als solche, bei denen in einem bestimmten Zeitmoment alle Teilchen sich in derselben Richtung bewegen, und zwar so, daß zwischen der Größe ihrer Verrückungen ein bestimmtes von der Zeit unabhängiges funktionelles Verhältnis besteht, wodurch die Differentialquotienten nach dem Ort ihre Bedeutung verlieren. Es wird hier dieselbe Methode benutzt, die ich in den „Prinzipien der graphischen Registrierung“ (Bd. I, 4) als die für die Lösung der Probleme geeignete bezeichnet habe: Nämlich eine freie Anwendung des d'Alembertschen Prinzips. So gelingt es, diese Schwingungen in befriedigender Weise zu berechnen, wie die Experimente gelehrt haben. Daß die Resultate dieser Analyse mit der Wellenlehre genügend übereinstimmen, ist in den Abhandlungen „Kritik der Manometer“ und der „Dynamik“, in denen die Analyse dieser Systeme vorbereitet worden ist, gezeigt worden. Da die Schwingungen der Luft bei allen Arten der Lufttransmission eine Rolle spielen, so behandle ich sie zuerst für sich (unter A).

Für das Gesamtsystem können dann die Schwingungen aus den Schwingungsdauern der Teilsysteme, des „Luftsystems“ und des „Hebelsystems“, nach dem von mir oft benutzten in Bd. I, 4 entwickelten Prinzip berechnet werden.

Die Analyse der Lufttransmissionssysteme ist, wie gesagt, sehr kompliziert. Man kann sich die Übersicht über die rechnerischen Beziehungen dadurch wesentlich erleichtern, daß man als Vorbild der Lufttransmission eine solche mit Kolbenübersetzungen behandelt. Selbstverständlich handelt es sich hier wieder um ideale Systeme, bei denen die Massen der Kolben, der Gestänge usw. gegenüber den Massen der Hebel und der Luft verschwinden. Die Entwicklung einer Theorie dieser Systeme ist von eben derselben Be-

deutung wie diejenige des Kolbenmanometers. Es wird sich herausstellen, daß die Lufttransmission mit Kolbenübersetzung im allgemeinen die Membransysteme an Güte überragt, daß man diese also der ersteren möglichst ähnlich gestalten wird.

Eine besondere Behandlung beansprucht die Lufttransmission mit optischer Registrierung durch Spiegel usw. Bei ihnen kommt nur das eine Teilsystem, die Luft unter dem Einfluß der elastischen Wände, ohne Berücksichtigung des Hebels in Betracht.

Allgemein ist die Lufttransmission als ein bewegungsregistrierendes Verfahren aufzufassen und zu behandeln.

In einzelnen Fällen wird die Lufttransmission in Kombination mit anderen Systemen angewandt. Dieses ist z. B. der Fall bei dem Marey-Chauveauschen Verfahren zur Registrierung der Kammerdruckschwankungen, also dem Transmissionsmanometer, und dem Transmissionssphygmographen. Man kann vorläufig noch nicht sagen, ob es rationeller ist, ein derartiges System als ein ganzes zu behandeln oder ob man die Leistungen des ersten Teils des Apparates, des Manometers oder des Sphygmographen, und diejenigen des zweiten Teils, der eigentlichen Lufttransmission, getrennt betrachten soll. Beide Behandlungsweisen können durchgeführt werden. In besonderen Kapiteln wird über diese Methoden dasjenige erörtert, was im Augenblick hierüber zu sagen ist.

Bei der speziellen Durchrechnung des Systems wird man bald wichtige Vereinfachungen der Formeln vornehmen können, indem sich Konstanten der Formeln in den betreffenden Fällen als unwesentlich herausstellen werden. Unterstützt man diese Ausrechnungen durch einige einfache Experimente, zu denen die Theorie den Leitfaden gibt, so wird man sehr rasch das beste Verfahren für die Lufttransmission ermitteln. Die Rechnung spielt hier, wie ich schon früher betont habe, ungefähr dieselbe Rolle wie die Ausrechnung von Linsenkombinationen für die Konstruktion eines leistungsfähigen optischen Apparats.

A. Eigenschwingungen der Luft in dem Röhrentrommelsystem.

Wie in der Dynamik, S. 327 ff., gezeigt wird, gelingt es durch bemerkenswerte Entwicklungen, die Dauer der Eigenschwingungen eines Systems zu berechnen, das aus einer Luftsäule von der Länge L, dem Querschnitt Q und dem Inhalt I besteht, an deren beiden Enden Trommeln von den Elastizitätskoeffizienten e_a und e_e sich befinden. e_a und e sind in den folgenden Formeln die Elastizitätskoeffizienten der Trommeln = Elastizitätskoeffizienten der Kapsel E' unter Einbeziehung der Luftelastizität der Trommel. Sie werden ermittelt nach der Formel:

$$\frac{1}{e} = \frac{J_{Tr}}{b} + \frac{1}{E'}$$

(J_{Tr} = Inhalt des Luftraums der Trommel).

wie stets bei der Kombination derartiger elastischer Wirkungen (s. Bd. I, 4)

Für die Berechnung des Elastizitätskoeffizienten der Gebertrommel oder Anfangstrommel ist folgendes zu bemerken: Die Schwingungsdauer des Systems, als eines bewegungsregistrierenden, soll unter der Voraussetzung

ermittelt werden, daß der Anfangsquerschnitt unverrückt bleibt (s. Bd. I, 4). Dann wird für alle Transmissionen mit Kolbenübersetzung und für die Volumtransmission mit Membranübersetzung das E′ der Anfangskapsel $= \infty$ und sein reziproker Wert fällt weg.

Bei der linearen Lufttransmission mit Membranübersetzung wird hierbei nur die Platte der Anfangskapsel festgehalten, während sich die Membran an den Seiten der Platte bei den Schwingungen ausbuchtet. Es existiert also ein endlicher Wert für das E′. Er kann aus den Gleichungen (13) und (15) der „Statik“, wenn man die Verrückung $f = 0$ setzt, berechnet werden. Er wird zu:

$$E'_0 = \frac{\varphi E'}{\varphi - 1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

(Über die Größe φ s. Kap. 2B und 3E.)

Die Formel für die Schwingungsdauer eines derartigen Systems lautet nach der „Dynamik“, S. 328 (42):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma L}{Q}} \sqrt{\frac{e_a e_e J^2/6 + (e_a + e_e) b J/2 + b^2}{e_a e_e J b + (e_a + e_e) b^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Wird der eine Elastizitätskoeffizient $e = \infty$, wie dies z. B. bei der Volumtransmission, wenn am Anfang kein eigentlicher Trommel(Trichter)raum vorhanden ist, oder bei der linearen Kolbentransmission stattfindet, so resultiert folgender Wert für T:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma L}{Q}} \sqrt{\frac{e J^2/6 + b J}{2 (J b e + b^2)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

In der „Dynamik“ habe ich weiterhin auseinandergesetzt, unter Einbeziehung der Ergebnisse der Wellenlehre und der experimentellen Untersuchung, daß im allgemeinen der Formel (1) eine einfachere vorzuziehen ist. Sie lautet:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma L}{Q}} \sqrt{\frac{(e_a + e_e) J/2 + b}{e_a e_e J + (e_a + e_e) b}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

(Gl. 48 der Dynamik). S. 353 der Dynamik sind die bei der Anwendung der Lufttransmission vorkommenden Werte zusammengestellt.

B. Volumlufttransmission mit Kolbenübersetzung.[1]

Die Empfindlichkeit, d. h. der Ausschlag der Schreibspitze dividiert durch die Volumverrückung an dem Anfang bzw. der Koppelstelle des Systems ist gleich:

$$\beta_r = \frac{v}{U(1 + KE')} = \frac{v U}{U^2 + K \eta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

β_r wird maximal für $U = \sqrt{K \eta}$, oder wenn $KE' = 1$ ist.[2])

Wenn η, der Koeffizient der Feder, gleich 0 wird, wie bei dem einfachen Pistonrekorder, dann ist:

$$\beta_r = v/U.$$

1) In den Abschnitten B, C, D, E handelt es sich immer nur um die Dynamik des einen Teilsystems, des Hebelsystems, diejenige des anderen ist in A behandelt.

2) J = Inhalt des Luftraums in Schlauch und Trommeln, K = Kompressibilität dieses Raums = J/b.

Die Volumübersetzung U dieser Formeln ist wie stets bei den Kolbenkapseln $= r^2 \pi$.

Für die Berechnung der Rückwirkung ist hier am bequemsten die Konstante E_r zu ermitteln (s. Formel (25) v. Bd. I, 4). Sie ist hier gleich;

$$E_r = U/vK. \qquad (6)$$

Die Schwingungsdauer des Hebelsystems unter der Wirkung der elastischen Koeffizienten der Spiralfeder und der Luft wird unter der Voraussetzung, daß der Anfangsquerschnitt festgehalten wird, zu:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mK}{U^2(1+KE')}} = 2\pi \sqrt{\frac{mK}{U^2 + K\eta}} \qquad (7)$$

(m = reduzierte Masse des Hebels.)

Wenn η gleich 0 wird, dann ist die Schwingungsdauer gleich:

$$\frac{2\pi}{U}\sqrt{mK}.$$

Die fiktive Masse ist gleich dem Quadrat der Schwingungsdauer dividiert durch $4\pi^2$.

Die Güte in bezug auf die Korrektur $= N^2 \beta_r$ wird zu:

$$\frac{3U}{4\pi^2 L\mu vK} = \frac{3}{4\pi^2 L\mu K\beta(1+KE')}. \qquad (8)$$

Die Güte in bezug auf die Rückwirkung ist gleich:

$$\beta_r/\text{fikt. Masse} \times E_r \cdot \beta_r = \frac{3}{L\mu \cdot \beta_r}. \qquad (9)$$

Die letztere Güte ist abhängig von der Masse des Hebels und der Empfindlichkeit, die erstere auch von der Kompressibilität des Luftraums und der Empfindlichkeit. Die Güte im ganzen genommen ist umgekehrt proportional allen diesen Größen. Man wird also den Luftraum möglichst verkleinern. Das kann an den beiden Trommeln geschehen dadurch, daß man sie flach macht. Ferner wird man den Schlauch möglichst kurz und seinen Querschnitt eng nehmen. Das letztere Bestreben findet seine Grenze in der durch die Verengerung des Querschnitts bedingten Herabsetzung der Güte des Luftsystems (s. unter A). Selbstverständlich kann in diesem Fall durch eine Maximum-Minimumrechnung der rationelle Querschnitt ermitt elt werden

C. Volum-Lufttransmission mit Membran-Übersetzung.

Die Empfindlichkeit ist gleich:

$$\beta_r = \frac{v}{U(1+KE')}. \qquad (10)$$

Sie hat ein Maximum, wenn

$$E'K = 1$$

Die Konstante E_r wird zu:

$$U/vK$$

Die fiktive Masse ist gleich:

$$\frac{m(\varphi + \varphi E'K - 1)}{U^2 E'(1+E'K)} \qquad (11)$$

Die Güte in bezug auf die Korrektur ist gleich:

$$\frac{3\,U\,E'}{4\pi^2 L\mu v(\varphi E' K+\varphi-1)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Die Güte in bezug auf die Rückwirkung ist gleich:

$$\frac{3}{L\,\mu\,\beta_r\left(\varphi+\dfrac{\varphi-1}{K\,E'}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Die Güte ist also von denselben Größen wie bei der Kolbentransmission abhängig. Nur kommt hier noch hinzu, daß die Güte wächst mit der Vergrößerung des Verhältnisses δ. Dadurch nähert sich der Koeffizient φ der Einheit und das Membransystem erhält die günstigen Eigenschaften des Kolbensystems.

D. Lineare Lufttransmission mit Kolbenübersetzung.

Die Empfindlichkeit des Systems ist gleich:

$$\beta_r = \frac{v\,U_a}{U_e(1+K\,E'_e)} = \frac{v\,U_a\,U_e}{U_e^2+K\,\eta_e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Die Konstante E ist gleich:

$$\frac{U_a\,U_e}{v\,K} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Die fiktive Masse wird zu:

$$\frac{m\,K}{U_e^2(1+K\,E'_e)} = \frac{m\,K}{U_e^2+K\,\eta_e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Die Güte für die Korrektur ist gleich:

$$\frac{3\,U_a^2}{4\,\pi^2\,L\,\mu\,K\,\beta_r\,(1+K\,E')} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Die Güte für die Rückwirkung ist:

$$\frac{3}{L\,\mu\,\beta_r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

Die Güte ist also im allgemeinen von denselben Konstanten in derselben Weise abhängig wie diejenige der Volumlufttransmission. Nur kommt hier hinzu, daß sie wächst mit der Vergrößerung der Anfangskapsel bezw. der Volumübersetzung am Anfang des Systems. Auch hier findet das Bestreben, die Güte auf diese Weise zu erhöhen, ihre Grenze in der dadurch bedingten Verschlechterung des Luftsystems.

E. Die lineare Lufttransmission mit Membranübersetzung.

Die Empfindlichkeit berechnet sich auf Grund der Gleichungen 13 und 18 der „Statik“ zu:

$$\beta_r = \frac{v\,U_a\,E'_a}{U_e} \Big/ \left[\varphi_a\,E'_a\,(1+K\,E'_e) + (\varphi_a-1)\,E'_e\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Durch Einsetzen der Werte für die Volumübersetzungen, die Größen E' und die Konstante φ erhält man:

$$\beta_r = \frac{r_a^2 r_e^2 S_a}{c_1 S_e r_a^4 + c_2 S_a r_e^4 + c_3 S_a S_e K} \quad \ldots \ldots \quad (20)$$

In diesem Ausdruck ist:

$$c_1 = (\varphi_a - 1) \frac{1 - \delta_a^2}{1 - \delta_e^2} = \varphi - 1 \text{ (wenn } \delta_a = \delta_e \text{ ist)}$$

$$c_2 = \varphi_a \frac{1 + \delta_e^2}{1 + \delta_a^2} = \varphi \quad (\delta_a = \delta_e)$$

$$c_3 \frac{8 \varphi_a}{\pi (1 + \delta_a^2)(1 - \delta_e^2)} = \frac{8 \varphi}{\pi (1 - \delta^4)} \quad (\delta_a = \delta_e)$$

Für $\delta_a = \delta_e = 0.8$ wird beispielsweise:

$$c_1 = 0 \cdot 016 \quad c_2 = 1 \cdot 016 \quad c_3 = 4 \cdot 383$$

Wenn $\delta = 1$ wird, so fällt der erste Summand aus dem Nenner weg. Dies ist der Fall bei der Kolbentransmission. Da man aber die Membrantransmission der Kolbentransmission durch Vergrößerung von δ möglichst ähnlich gestaltet, kann man für die Empfindlichkeit auch den einfacheren Ausdruck wählen:

$$\beta_r = \frac{r_a^2 r_e^2}{r_e^4 + c_3 S_e K} \quad \ldots \ldots \quad (21)$$

E_r ist gleich:

$$\frac{U_a E'_a U_e}{v(\varphi_a K E'_a + \varphi_a - 1)} \quad \ldots \ldots \quad (22)$$

Die fiktive Masse ist:

$$= \frac{m [\varphi_e E'_e (\varphi_a E'_a K + \varphi_a - 1) + \varphi_a E'_a (\varphi_e - 1)]}{\eta_e \varphi_e [\varphi_a E'_a (1 + E'_e K) + (\varphi_a - 1) E'_e]} \quad \ldots \quad (23)$$

Die Güte für die Korrektur wird:

$$\frac{3 v U_a E'_a U_e E'_e}{4 \pi^2 L \mu [\varphi_e E'_e (\varphi_a E'_a K + \varphi_a - 1) + \varphi_a E'_a (\varphi_e - 1)]} \quad \ldots \quad (24)$$

Die Güte für die Rückwirkung wird:

$$\frac{3}{L \mu \beta_r \left[\varphi_e + \dfrac{\varphi_e - 1}{E'_a K + 1 - \dfrac{1}{\varphi_a}} \dfrac{E'_a}{E'_e}\right]} \quad \ldots \ldots \quad (25)$$

Für die Leistungen dieses Systems und ihr Verhältnis zu den Leistungen des Kolbeninstrumentes gilt dasselbe, was am Ende der Abschnitte C und D gesagt worden ist.

F. Wahl eines Systems für einen bestimmten Zweck.

Um dasjenige System der Luftübertragung, das für einen bestimmten Zweck am geeignetsten sein soll, zu wählen, muß man durch eine Reihe von

Vorexperimenten die Anforderungen kennen lernen, die an das System gestellt werden.

Zunächst ist die Empfindlichkeit zu bestimmen, die notwendig oder wünschenswert ist. Außerdem muß ermittelt werden, welche minimale Schwingungsdauer zu einer genauen oder annähernd genauen Registrierung nötig ist. Man kann unter Umständen nur sukzessive zu diesen Werten gelangen, in der Weise, wie dies früher bei den allgemeinen Erörterungen in Bd. I Abteil. 4 angegeben worden ist.

Ist die notwendige Empfindlichkeit festgestellt, so kann man nach den obigen Formeln für die Empfindlichkeiten die Konstanten des Systems wählen. Dabei ist zu bedenken, daß durch die Versuche sehr rasch die notwendige minimale Schlauchlänge, die hauptsächlich von der Anordnung des ganzen Apparates abhängt, festgestellt wird. Selbstverständlich wird man den Inhalt des Trichters und der Kapsel möglichst klein wählen.

Für ein derartiges genügend empfindliches System wird nun die Schwingungsdauer des Hebels für sich allein und der Luft für sich allein ausgerechnet, und daraus die Dauer der Eigenschwingungen des Gesamtsystems berechnet (s. Bd. I, 4 und Kap. 7 A S. 35).

Genügt diese Schwingungsdauer, so ist ein passendes System gefunden. Fällt sie kürzer aus als notwendig, so wird man der Bequemlichkeit der Anwendung den Ausschlag geben lassen und wird z. B. die Länge des Schlauchs vergrößern.

In den meisten Fällen wird aber die Leistung irgendwie zu gering sein. Dann hat man zu entscheiden, wo die Verbesserungen bei den Konstanten einzusetzen haben. In den meisten Fällen wird es sich darum handeln, die Schwingungszahl des Systems, die selten den Anforderungen ohne weiteres entspricht, zu erhöhen. Dies kann im allgemeinen nur auf Kosten der Empfindlichkeit, aber in verschieden rationeller Weise geschehen.

Für diese Verbesserungsversuche lassen sich einige Regeln entwerfen. Vor allem ist festzustellen, welche Schwingung den Hauptanteil an der Dauer der Gesamtschwingung hat, die Schwingung des Hebels allein oder der Luft allein. Man wird mit den Verbesserungen an demjenigen Teil-System ansetzen, das wesentlich die Schwingungsdauer des Gesamtsystems bestimmt.

Die Ausdrücke für die Güte des einen Teils des ganzen Systems, des Hebels, der unter dem Einfluß der Elastizität der Luft und der Membranen sich bewegt, finden sich in den vorhergehenden Abschnitten B-E dieses Kapitels. Man wird danach vor allem die Empfindlichkeit der Instrumente nicht höher wählen, als dies absolut nötig ist. Über die Güte des anderen Teils des Gesamtsystems (für die Hebelkapseltransmission meist zu vernachlässigen) der Luft unter dem Einfluß aller elastischen Faktoren, sind in der „Dynamik“ S. 338 ff. einige Überlegungen angestellt worden, die jetzt nach der Aufstellung der allgemeinen Prinzipien, einer Revision bedürfen, aber in der Hauptsache das Richtige treffen. Danach wird wesentlich der Schlauchquerschnitt zu erhöhen sein, soweit dies nicht durch die Erniedrigung der Güte des ersten Systemteils seine Grenze findet.

Frank. „Statik“, „Dynamik“ „Theorie der Lufttransmission“ Zeitschr. f. Biologie 1910.

Kapitel 15.

Anwendung der Lufttransmission. Die Registrierkapseln.

Nach Marey (La circulation S. 83) ist der Amerikaner Upham (1859 s. Gscheidlen Methodik S. 551 und 580) der erste gewesen, der die Luft zur Transmission von Bewegungen angewandt hat. Im Jahre 1860 bildete Buisson das Lufttransmissionsverfahren so aus, wie es in der Hauptsache heute noch gebräuchlich ist. Und zwar wandte er es zuerst zur Konstruktion eines Transmissions-Sphygmographen an. Erst durch Marey und seine Schule gelangte das Lufttransmissionsverfahren zu allgemeinerer Anwendung. Die von ihm verwendete Registrierkapsel erhielt den Namen „Mareysche Kapsel", wenn auch eigentlich Buisson ihr erster Konstrukteur gewesen ist.

Die Lufttransmission wird in der Hämodynamik zur Kardiographie und Sphygmographie verwendet, ferner in der Gestalt des Transmissionsmanometers zu Druckmessungen (s. Kap. 16). Als eigentliche lineare Transmission ist sie von Marey zur Registrierung der Muskelzuckungen, ferner von Schlauch-



Fig. 19.
Mareysche Kapsel.

pulsen angewandt worden. François Franck hat sie bei seinen vielen Untersuchungen auch zur Registrierung der Bewegungen der verschiedenen Herzabteilungen benutzt. Wie die übrigen Modifikationen der Lufttransmission dürfte die lineare Lufttransmission ihre Hauptvorzüge erst bei optischer Registrierung entfalten. Die Güte der Hebellufttransmission steht immer wesentlich hinter derjenigen der direkten Hebelregistrierung zurück, weil in das System ein unnötiger elastischer Faktor, die Luft, eingeschaltet ist (s. Bd. I, 4).

A. Die Mareysche Kapsel und ihre Modifikationen.

Bis jetzt ist noch keine Registrierkapsel mit Hebelregistrierung angegeben worden, die einen wesentlichen Vorzug vor der eigentlichen Mareyschen Kapsel, die hier nebenan abgebildet ist, besäße. Allerdings sind weder ihre noch die Konstanten anderer Kapseln angegeben worden. Die Angabe von Harris (1896), daß die Schwingungszahl einer Mareyschen Kapsel 56 betrage, trifft sicher nicht für eine empfindliche Kapsel mit Hebelregistrierung zu. Deren Schwingungszahl liegt niedriger.

Hürthle (1893) hat versucht, die Massenwirkung des Hebelapparates zu verringern, er schreibt:

„Die ganze Schreibvorrichtung, bestehend aus einem Hebel von 120 mm Länge samt Achse, aus der Aluminiumscheibe von 20 mm Durchmesser und der Gelenkverbindung, wiegt nicht ganz 0,3 gr. Dies ist dadurch erreicht,

daß die Aluminiumscheibe durchlöchert und die Gelenkverbindung am Strohhebel selbst angebracht ist."

Daß durch diese Maßnahmen die Leistungen der Kapsel nicht erhöht werden, geht aus den theoretischen Erörterungen hervor, denn die Masse der Gelenkverbindungen und der Platte tritt gegenüber der reduzierten

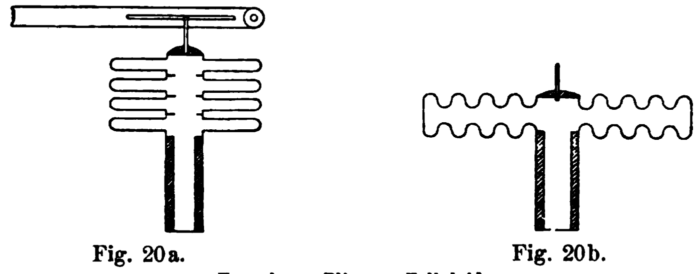


Fig. 20a. Fig. 20b.
Kapsel von Blix aus Zelluloid.

Masse des Hebels zurück. Die Durchlöcherung der Aluminiumplatte kann nur zu einer Verschlechterung des Apparates führen, indem durch sie ein nutzloser Elastizitätskoeffizient eingeführt wird (s. Bd. I, 4).

Binet et Courtier (1895) und Chauveau (1895) haben eine Dämpfung der Luftbewegung durch Hahn oder Revolver zur Sicherung der Angaben der Mareyschen Kapsel angewendet. Eine derartige Maßregel kann nur dann nützen, wenn der Einfluß der Dämpfung quantitativ festgestellt ist; sie kann niemals eine Verbesserung der Leistungen des Instruments durch Verminderung der Massenwirkung ersetzen.

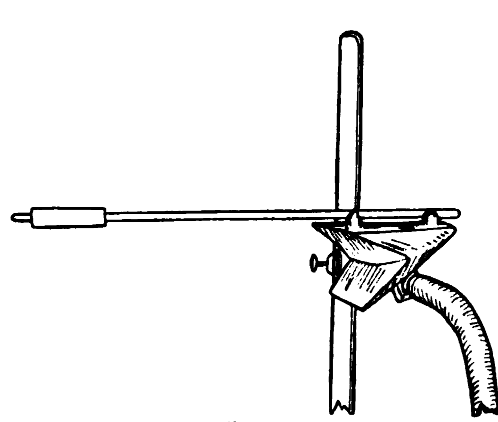


Fig. 21.
Bellow-rekorder nach Brodie.

Blix (1902) versucht ein beständigeres Material zur Konstruktion einer Mareyschen Kapsel zu verwenden, als es der Gummi ist. Er bildet sie aus Zelluloid. Damit die nötige Empfindlichkeit herauskommt, formt er aus diesem Material eine Kapsel, die einem Blasebalg ähnlich ist. Daß diese Kapsel gut fungiert, lehren die Aufzeichnungen, die Tigerstedt (1908) mit ihr erhalten hat.

Die Bellows-rekorder von Brodie (1902) stellen eine eigentümliche Form der Mareyschen Kapsel dar. Sie sind wie ein kleiner Blasebalg gestaltet. Der eigentliche Balg besteht aus Kalbsperitonäum, das mit einer verdünnten alkoholischen Leinöllösung gefirnißt ist.

Die feststehende von der Röhre durchbohrte Grundplatte besteht aus Metall, Holz oder Hartgummi, die bewegliche Platte aus einem mit Papier überklebten Aluminiumrähmchen. Der kleine Apparat hat eine gewisse

Ähnlichkeit mit dem Gadschen Aeroplethysmographen. Auf der beweglichen Platte ist ein Schreibhebel von 24 cm Länge und 0,12 g Gewicht befestigt. Der Schreibhebel besteht aus einem dünnen Streifen von „cane" (Zuckerrohr?). An sein freies Ende ist ein Streifen von dünnem Schreibpapier 0,5×0,5 cm angeklebt, an dessen Ende weiterhin ein kleines gebogenes Schreibspitzchen aus Glas befestigt ist. Ob der Apparat für die Registrierung von raschen Volumschwankungen brauchbar ist, geht aus den Prüfungen von Brodie nicht mit Sicherheit hervor. Man kann wohl voraussagen, daß hierfür seine Güte nicht ausreicht, denn sie wird durch die unnötigen in dem Balg eingeschalteten Elastizitätsfaktoren stark beeinträchtigt. Dagegen dürfte das Instrument zur Registrierung von langsameren Volumschwankungen sehr geeignet sein, denn seine statische Rückwirkung, die in dem bei den Exkursionen des Instrumentes auftretenden Druck besteht, ist äußerst gering. Bei dem größten Exemplar war der meßbare Druck etwa 0,5 mm, bei dem kleinsten 2—3 mm Wasser, und fast vollständig konstant selbst bei beträchtlichen Volumschwankungen.

Dixon (1907) verwendet als Volumrekorder einen mit einfachen Hilfsmitteln, Korken, Drähten, Glasröhren usw. zusammengestellten Apparat. Das Onkometer steht durch eine Röhre mit dem Lumen eines Stückes Dickdarm vom Frosch in Verbindung, das an dem anderen Ende geschlossen ist. Die Bewegungen, die diesem Ende erteilt werden, werden auf ein einfaches Hebelsystem übertragen. Der Dickdarm wird mit Glyzerin feucht erhalten und bleibt nach den Angaben des Autors für eine unbestimmte Zeit brauchbar und dicht. Der Apparat ist bis jetzt zu wissenschaftlichen Untersuchungen noch nicht verwertet worden; seine Fehler müßten noch festgestellt werden.

Auch der Pistonrekorder kann als Registrierkapsel bei der Lufttransmission verwendet werden. Er wird in dem Kapitel 18 behandelt.

Die verschiedenen Vorrichtungen, die als Aufnahmetrommeln dienen, werden in den besonderen Kapiteln über Sphygmographie und Kardiographie (Teil II) beschrieben. Das Verfahren der Lufttransmission erlaubt in sehr bequemer Weise die gleichzeitige Registrierung von verschiedenen Bewegungen. Solche Kombinationen von verschiedenen Lufttransmissionsapparaten sind häufig angegeben worden. Sie werden als Polygraphen (Grunmach 1880) bezeichnet. Einige neuere Polygraphen werden in den Abhandlungen von Coop (1896), Roussy (1898), Mackenzie (1908) beschrieben. Sie dienen meist klinischen Zwecken. Eine für klinische Untersuchungen beliebte Zusammenstellung ist die Jaquetsche. Sie besteht aus einem Jaquetschen Sphygmographen, an dessen Gestell mehrere kleine Mareysche Kapseln angebracht sind.

In die Schlauchverbindung schaltet man am besten eine Röhre ein, die mit einer seitlichen Öffnung zur Regulierung des Luftdruckes versehen ist. Marey hat hierfür ein besonderes „Ventil" angegeben (abgebildet Gscheidlen, Methodik S. 552). Ein mit einem Kautschukschlauch und Quetschklemme versehenes T-Rohr leistet dasselbe.

B. Die optischen Kapseln.

Verwendet man statt der Hebelregistrierung die optisch-photographische Registrierung unter Beachtung der Prinzipien der theoretischen Analyse,

so können die Leistungen der Lufttransmission so weit gesteigert werden, daß sie allen Anforderungen genügt. Von mir sind derartige optische Kapseln angegeben worden. Ich verwende zweierlei Konstruktionen:

1. Bei der einen wird der Spiegel in derselben Weise mit der Membran der Kapsel verbunden, wie dies in Bd. I, 4 „Spiegel", ferner in Kap. 6 in Figur 3a angedeutet ist. Das Gestell des Spiegels ist so montiert, daß es von der darunter befindlichen Kapsel abgehoben werden kann, so daß beliebige Kapseln von verschiedener Empfindlichkeit unter den Knopf des Hebels geschoben werden können. Die untere Fläche dieser Kapseln ist platt geschliffen und schließt durch Vaselinedichtung die ebene Fläche des Grundkörpers ab. So können Kapseln von verschiedener Empfindlichkeit in kürzester Zeit ausgewechselt werden. Auf der Membran der Kapsel ist eine Glasplatte aufgeklebt, auf die der Knopf des Hebels leicht angedrückt wird.

2. Die Herztonkapsel. Sie besteht aus einer kurzen Röhre, deren eine Öffnung nicht kreisförmig ist, sondern ein Kreissegment, das durch eine Sehne ergänzt wird, wie in Fig. 22 angedeutet ist. Über den Rand der Öffnung ist die Membran gespannt, auf welcher der Spiegel aufgeklebt ist. Damit sich der Spiegel nicht verzieht, ist er nicht direkt auf die Membran, sondern auf ein trapezförmiges Zelluloidplättchen so aufgeklebt, wie es in Bd. I, 4 „Spiegel" geschildert ist. Erst durch das Verfahren 2 kann die minimale Massenwirkung erreicht werden.

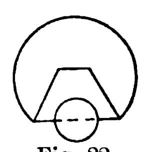


Fig. 22. Herztonkapsel.

Die Röhre, die den Spiegel trägt, hat auf der anderen Seite einen konischen Schliff, der in ein Rohr paßt, das wie eine Kanone auf der Lafette gelagert ist. Es kann nämlich durch Mikrometerschrauben in einer vertikalen Ebene und auch seitwärts gedreht werden, so daß der von dem Spiegel reflektierte Strahl auf die gewünschte Stelle des photographischen Kymographions trifft. Dieses Rohr steht weiterhin durch einen Schlauch mit der Geberkapsel in Verbindung. In das Rohr passen mehrere Herztonkapseln, von verschiedener Empfindlichkeit, aus denen man eine passende auswählt.

Von Garten (1904) ist in geschickter Weise eine Seifenblase als Kapsel verwendet worden. Er bringt den Rand der Seifenblase in das Gesichtsfeld eines Mikroskops und projiziert ihn durch eine passende Vorrichtung auf ein optisches Kymographion. Die Seifenblasenkapsel steht durch einen Schlauch mit einer Plethysmographenbüchse oder mit einer Manometerkapsel in Verbindung (s. Kap. 16 und Teil II „Plethysmographie"). Nur in seltenen Fällen dürfte die Seifenblase einen Vorzug vor den vorher geschilderten optischen Kapseln haben.

C. Das Verfahren von Donders zur Prüfung der Lufttransmission.

Von Donders ist ein Verfahren ausgebildet worden, mit dem die Korrektheit der Aufzeichnungen einer Mareyschen Kapsel geprüft werden soll. An dem Rand eines Rades ist die Kurve eingeschnitten, die von der Kapsel registriert werden soll. Auf dem Rand des sich drehenden Rades schleift mit einer Pelotte ein durch eine Feder angedrückter Hebel. Der Hebel steht mit der Platte einer Geberkapsel in fester Verbindung, deren Bewegung durch Lufttransmission auf die Registrierkapsel übertragen wird. Das Verfahren kann in dieser Form im besten Fall zur Prüfung der Lei-

stungen der Transmission in bezug auf die korrekte Aufzeichnung der Bewegungen an der Verkopplungsstelle, nicht aber zur Prüfung der Rückwirkung verwendet werden. Daß es für die Prüfung eines mit Flüssigkeit gefüllten Systems keinen Sinn hat, ist von Hürthle (1893) nicht beachtet worden.

Binet et Courtier 1895. Un régulateur graphique. C. R. d. l. Soc. Biol. S. 320.
Blix. 1902. Neue Registrierapparate. Pflügers Arch. 90 S. 405.
Brodie 1902. On recording variations in volume by transmission. A new form of volumerecorder. Journ. of physiol. XXVII, S. 473.
Buisson 1861. Quelques recherches sur la circulation. Gaz. médicale de Paris S. 319.
Chauveau 1895. Remarques sur la note de MM. Binet et Courtier. C. R. Soc. Biol. S. 322.
Coop 1896. Nouveau polygraphe clinique muni de métronome et de petits tambours inscripteurs très-sensibles. Arch. d. physiol. norm. et pathol. S. 509.
Dixon 1907. A delicate form of volume-recorder. Journ. of physiol. 35, S. XXVI.
Donders 1867. Onderzoek. ged. in h. physiol. Lab. Utrecht, 1867, 2. Reihe, Bd. I, S. 11.
Donders 1868. Physiologie des Nervus Vagus. Arch. f. d. ges. Physiol. I, S. 331.
Garten 1904. Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen und seine Anwendung auf den Volumenpuls. Arch. f. d. ges. Physiol. S. 104, 351, Taf. 3—6.
Grunmach 1880. Polygraphium. du Bois-Reymonds Arch. S. 438.
Harris 1896. A note upon the vibrational rate of the membranes of recording tambours. Journ. of anat. and physiol XXXI, S. 29.
Hürthle 1893. Beiträge zur Hämodynamik. 9. Abhandl. Vergleichende Prüfung der Tonographen v. Freys u. Hürthles. Pflügers Arch. LV, S. 319.
Mackenzie 1908. The ink polygraph. Brit. med. Journ. 1908, S. 1411.
Roussy 1898. Grand enregistreur polygraphique pour inscriptions de longues durées. C. R. d. l. Soc. Biol. S. 1197.
Tigerstedt 1908. Die Pulskurve der Aorta beim Menschen. Skand. Arch. f. Physiol. 20. S. 249.
Upham 1859. Fissura sterni congenita. New observations and experiments made in Amerika and Great Britain with illustrations of the case and instruments by Eugène Groux p. 8.

Kapitel 16.

Das Transmissionsmanometer.

A. Beschreibung der Apparate.

Marey hat zwei Manometerkonstruktionen angegeben, bei denen die Deformationen der Manometermembran durch Lufttransmission registriert werden. Die eine (Chauveau und Marey 1863 S. circulation S. 85), die „Sonde cardiaque“, besteht aus einem Gummibeutel, der eigentlichen Manometermembran, der durch ein Gerüst von Stahldrähten an dem Zusammenfallen verhindert ist. Sein Lumen steht durch einen Katheter und weiterhin durch einen elastischen Schlauch mit einer Mareyschen Kapsel in Verbindung. Der Gummibeutel wird in die Herzhöhlen vorgeschoben. Es ist selbstverständlich, daß dieses Instrument nur bei größeren Tieren angewendet werden kann. Soviel mir bekannt ist, ist es nur von Chauveau und Marey für ihre bekannten Aufzeichnungen der Druckschwankungen in den verschiedenen Herzabteilungen des Pferdes verwendet worden. Zur gleichzeitigen Registrierung der Druckschwankungen in Vorhof und Ventrikel

sind in der für das rechte Herz bestimmten Sonde zwei Gummibeutel hintereinander eingefügt, deren Lumina getrennt mit Mareyschen Kapseln verbunden sind (s. Fig. 23a u. b).

Die zweite Konstruktion von Marey, das „Sphygmoscope“ (circulation S. 179) besteht aus einem Gummifinger, dessen Lumen durch ein Rohr mit

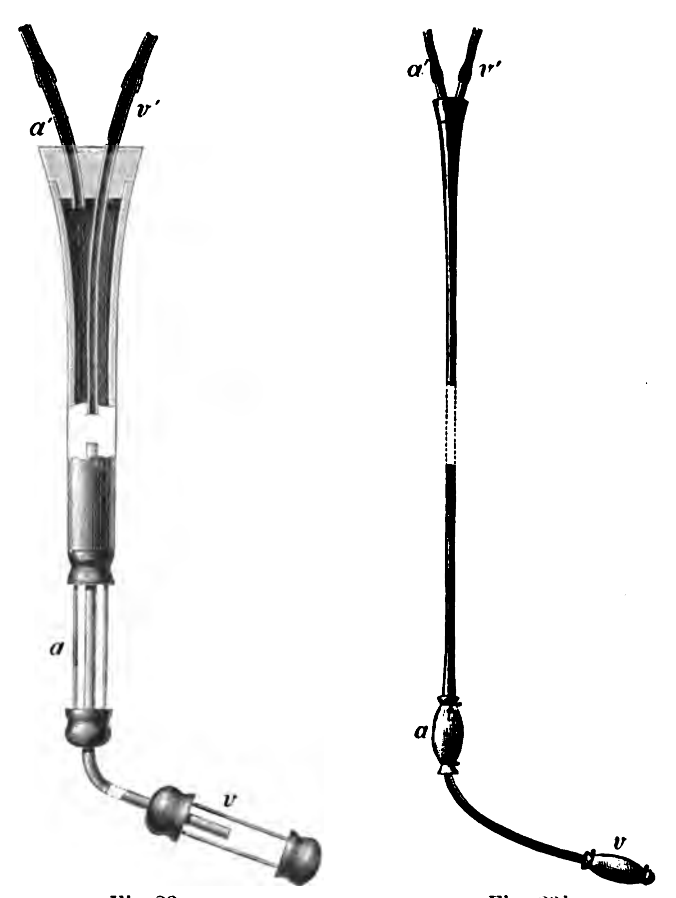


Fig 23a. Fig. 23b.
Chauveau-Mareysche Sonde für das rechte Herz (Vorhof und Ventrikel).
a Vorhof-Ampulle mit Sonde a'; v Ventrikel-Ampulle mit Sonde v'.

der Stelle, an der der Druck gemessen werden soll, kommuniziert. Der Gummifinger und das Rohr sind mit gerinnungshemmender Flüssigkeit gefüllt. Der Gummifinger steckt in einem etwas weiteren Glaszylinder, dessen Inneres, mit Luft gefüllt, durch ein passendes Röhrensystem mit einer Mareyschen Kapsel in Verbindung steht (s. Fig. 24).

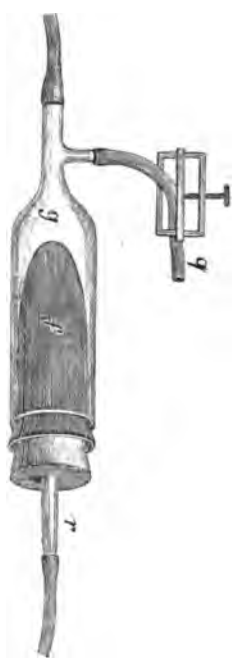
Fredericq (1892, siehe auch Ansiaux 1892) hat die zweite Konstruktion insofern modifiziert, als er statt des zu dehnbaren Gummifingerlings eine über eine Trommel ausgespannte Membran angewendet hat.

Bei diesen Methoden kann auch optische Registrierung stattfinden. So braucht Garten (1904) bei der zweiten Mareyschen Methode zur Registrierung der Bewegung der Manometermembran, die aus dünnem Glas bestand, die Lufttransmission und eine Kapsel, die mit einer Seifenblase überspannt war. Ich habe, seitdem ich mich mit diesen optischen Registriermethoden beschäftige, Kapseln mit optischer Spiegelregistrierung, sowohl für die erste als für die zweite Methode verwendet.

B. Theorie (Frank „Dynamik", Frank und Petter 1910).

Marey hat keine Prüfung der Leistungen seines Manometers vorgenommen.

Eine eingehendere Darstellung der Theorie dieser Instrumente verlohnt sich kaum, vor allem, weil man jetzt die technischen Schwierigkeiten einer nach den Grundsätzen der Theorie rationell ausgeführten Konstruktion der Mareyschen Hebelkapsel noch nicht übersehen kann. Aber die Entwicklung der Grundzüge der Theorie dürfte doch von Wert sein. Das kompliziertere System des Sphygmoskops, auf das der erste Mareysche Typus durch Vernachlässigung der Flüssigkeitsmasse zurückgeführt werden kann*), besteht aus einer Röhre, in der die gerinnungshemmende Flüssigkeit enthalten ist. Da man keine Verbindungsröhre nötig hat, besteht diese Röhre nur aus der Kanüle und der angesetzten Manometerkapsel. Diese Kapsel ist abgeschlossen durch eine elastische Membran, deren Volumelastizitätskoeffizient mit E'_1 bezeichnet ist. An diese Manometermembran setzt sich die eigentliche Lufttransmission an. Sie besteht aus dem Röhrensystem mit dem Luftinhalt J und der Registrierkapsel. Ihre Membran besitzt die Spannung S, den Koeffizienten E'_2 und den Radius r. Das Verhältnis des Radius der Platte zu dem Radius der Membran $= \delta$. Der Druck in dem Luftraum wird mit b bezeichnet.


Fig. 24.
Sphygmoskop nach Marey.

Nach Formel 35 der Dynamik ist die Empfindlichkeit =

$$\gamma_r = \frac{2v \cdot}{r^2 (1 + \delta^2)\, \pi\, (E'_1\, E'_2\, J/b + E'_1 + E'_2)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Die Empfindlichkeit hat ein Maximum (oder die Vergrößerung v ein Minimum) für das rationelle $r^4 =$

$$\frac{8\,S\left(\frac{1}{E'_1} + \frac{J}{b}\right)}{(1-\delta^4)\,\pi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

oder wenn

$$\frac{1}{E'_2} = \frac{1}{E'_1} + \frac{J}{b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

*) Die „Sonde cardiaque" kann auch nach dem Prinzip der Volumlufttransmission behandelt werden. (s. Kap. 14.)

ist. Die maximale Empfindlichkeit wird dann zu

$$\gamma_r = \frac{v}{E'_1 r^2 (1+\delta^2)\pi} \quad . . . . (4)$$

Für die Berechnung der Schwingungsdauer T des Transmissionsmanometers zerlegt man das System in drei Teilsysteme, das Membranhebelsystem, das Membranflüssigkeitssystem und das Membranluftsystem. Das Membranhebelsystem besteht aus dem Hebel und den Elastizitätskoeffizienten der beiden Membranen und der Luft, das Membranflüssigkeitssystem aus der Flüssigkeit und den gleichen Elastizitätskoeffizienten usw.

Zur Beurteilung der Leistungen des Hebeltransmissionsmanometers kann man folgende Überlegungen anstellen. Setzt man fest, daß das Instrument eine bestimmte Empfindlichkeit erhalten soll, so wird man zunächst die Frage aufwerfen, ob die minimale Hebelübersetzung, die nach der Formel 4 resultiert, rationell ist für die Erzielung einer möglichst geringen Schwingungsdauer des Membranhebelsystems. Eine Überlegung, auf die nicht eingegangen wird, zeigt, daß dies der Fall ist. Führt man diese minimale Hebelvergrößerung ein, so erhält man für η, d. h. die für die Einheit der Verschiebung der Membranplatte notwendige Kraft (siehe Kap. 3, S. 15)

$$\eta = \frac{4 S \pi}{2 l\left(\frac{1}{\delta}\right) - \frac{1-\delta^2}{1+\delta^2}} \quad . . . . (5)$$

Danach läßt sich die Schwingungszeit des Membranhebelsystems einfach berechnen. Sie ist hauptsächlich von E'_1 abhängig und wächst mit wachsendem E'_1. Auch die Schwingungsdauer für das Membranflüssigkeitssystem kann berechnet werden. Die Schwingungen des Membranluftsystems sind in der Regel wesentlich kürzer als diejenigen des Membranhebelsystems und des Membranflüssigkeitssystems. Sie brauchen also im allgemeinen nicht berücksichtigt zu werden. Unter der Zahl der möglichen Typen, die sich auf dieser Grundlage berechnen lassen, gebe ich hier zwei günstige an:

1. $E' = 4 \times 10^6$ $v = 39$ $N_F = 42$ $N_H = 49$ $r = 0{,}54$
2. $E' = 5 \times 10^6$ $v = 49$ $N_F = 47$ $N_H = 39$ $r = 0{,}53$

Sie sind unter der Voraussetzung berechnet, daß die Konstanten die folgenden Werte haben:

$\gamma_r = 1$ cm Ausschlag für 10 cm Hg;
$S = 0{,}8 \times 10^4$ (Condom) $\delta = 0{,}67$;
$\mu = 0{,}002$, $L = 5$;
$J = 3$ (50 cm Schlauch von 2 mm Lumen + 1,5 CC. Luft in den Kapseln);
M' (nur in der Kanüle) $= 60$.

Die Schwingungszahl dieser Typen würde sich nach den Angaben auf rund $40/\sqrt{2} = 30$ belaufen. Man sieht also, daß das Transmissionsmanometer in seinen Leistungen wesentlich hinter dem direkten Manometer zurücksteht, was von vorn herein zu erwarten war. Dabei ist noch zu bedenken, daß die Ausführung dieser günstigen Konstruktionen ziemlich große, bis jetzt noch nicht vorauszubestimmende technische Schwierigkeiten haben wird. Ferner kann man erkennen, daß Fredericq mit seiner Behauptung, der Gummifinger im Mareyschen Sphygmoskop wäre

zu dehnbar, um die volle Leistungsfähigkeit zu erzielen, recht hat, denn bei einer Verringerung von E′ nimmt die Schwingungszahl des Membranflüssigkeitssystems zu sehr ab. (Siehe auch Ansiaux 1892.) Auf der anderen Seite ist aber auch zu bedenken, daß das E′ der Manometermembran nicht zu hoch sein darf, weil sonst N_H zu sehr abnehmen muß, um dieselbe Empfindlichkeit zu erzielen, daß also das Prinzip der minimalen Flüssigkeitsverschiebung auch hier nicht gilt. Fällt die wirksame Masse der Flüssigkeit wie bei dem Chauveau-Mareyschen Herzkatheter fast vollständig weg, so muß das E′ der Manometermembran kleiner gemacht werden, wenn man die Vorteile dieser Konstruktion ausnutzen will. Doch ist diese Verkleinerung nur bis zu einer gewissen Grenze rationell. Denn mit dieser Verringerung nimmt die Dauer der Schwingungen des Luftmembransystems zu, wodurch der erreichte Vorteil wieder aufgehoben werden kann. Also auch hier eine Maximalleistung bei einer gewissen mittleren Größe von E′ der Manometermembran.

C. Überblick über die Leistungen der Transmissionsmanometer.

Wie aus den Entwicklungen der Theorie hervorgeht, stehen diese Instrumente auch bei rationeller Konstruktion an Güte hinter den direkten Manometern zurück, also das Transmissionshebelmanometer hinter dem gewöhnlichen Hebelmanometer, ebenso das Sphygmoskop mit optischer Registrierung (Seifenblasenmethode), wie es Garten angewandt hat, hinter dem Spiegelmanometer bester Konstruktion usw. Auch die Rückwirkung ist größer.

Dagegen haben die Mareyschen Sonden gewisse Vorteile. Bei ihnen fällt ja die wirksame Masse der Flüssigkeit weg. Ihre Leistungsfähigkeit werden sie besonders dann entfalten, wenn optische Registrierung bei ihnen angewendet wird. Dann kommt nur noch das Membranluftsystem in Betracht. Man kann in diesem Fall, da die Empfindlichkeit der optischen Kapsel sehr groß ist, sehr kleine Ballons zur Einführung in das Gefäßsystem oder in die Herzhöhlen verwenden. Ich habe eine Reihe von Untersuchungen mit solchen Sonden ausgeführt. Sie bestehen aus einem einfachen Katheter, dessen Auge mit einer dünnen, durch eine Hülse vor dem Abreißen geschützten Gummimembran überspannt ist. Man kann die Röhre so eng halten, daß die Registrierung des Druckablaufs in den Herzhöhlen selbst bei kleineren Tieren, wie Kaninchen, möglich wird. Die Versuche sind noch nicht publiziert.

Ansiaux 1892. Siehe Kapitel 4.
Chauveau und Marey 1863. Appareils et experiences cardiographiques. Mém. d. l'acad. impériale de méd. 26. S. 268.
Frank 1907. „Dynamik."
Frank und Petter 1910. Ztschr. f. Biol. Im Druck.
Fredericq 1892. Über die Zeit der Öffnung und Schließung der Semilunarklappen. Zentralbl. f. Physiol. VI, S. 257.
Garten 1904. S. Kap. 15.

Kapitel 17.

Der Transmissions-Sphygmograph.

Der erste Versuch, die Pulsbewegungen durch Lufttransmission aufzuschreiben, rührt von Buisson 1858 her. (Notiz von Marey, La circulation S. 705.) Er ist nicht publiziert worden. Veröffentlicht wurde zunächst eine Konstruktion von Brondgeest (1873). Später sind mehrere weitere Konstruktionen angegeben worden. Sie bestehen sämtlich aus einer mit einer Membran überspannten Kapsel, auf die durch eine Pelotte die Pulsbewegung einwirkt. Die Pelotte ist entweder wie bei dem Kardiographen unmittelbar auf die Platte der Membran aufgeklebt oder sie ist an einer Feder, ähnlich wie bei dem Mareyschen Sphygmographen befestigt, deren Bewegung dann auf die Platte der Kapsel übertragen wird. In der ersten Art ist der Brondgeestsche Apparat konstruiert, in der anderen der Mareysche

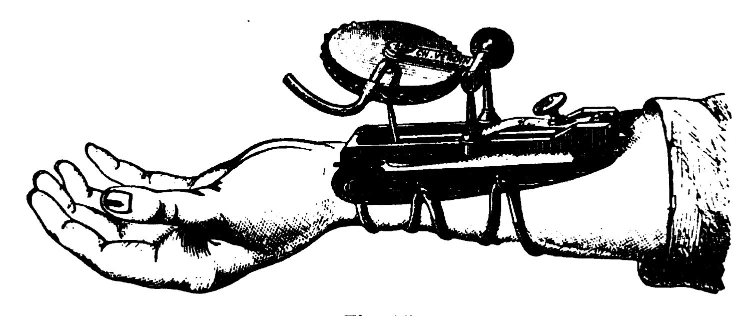


Fig. 25.
Transmissionssphygmograph nach Marey.

Transmissions-Sphygmograph (La circulation S. 222). Der letztere ist in der nebenstehenden Abbildung reproduziert. Man sieht, daß der Sphygmograph ähnlich wie der direkte Sphygmograph angelegt wird. Die Schiene, die Pelotte, die Feder und die Schraube zur Veränderung der Federspannung sind gerade so wie bei diesem Apparat gebildet. Von dem Pelottenende führt ein Stäbchen mit den entsprechenden gelenkigen Verbindungen zu der Platte der sehr großen Kapsel. Sie ist durch einen Schlauch mit der Mareyschen Registrierkapsel verbunden.

Andere Konstruktionen ähnlicher Art sind noch von Mathieu et Meurisse (1875), Grunmach (1876), Knoll (1879), Klemensiewicz (1876), Keyt (1887), Edgren (1889) angegeben worden. Diese Sphygmographen können mit anderen ähnlichen Instrumenten, wie Transmissions-Kardiographen und dergl. zu einem Polygraphen vereinigt werden.

Eine Kritik dieser Apparate ist bis jetzt noch nicht gegeben worden. Sie würde sich an die von mir entwickelte Theorie der Lufttransmission anzuschließen haben. Die Systeme könnten entweder in toto oder getrennt in die beiden Teile: Sphygmograph und eigentliche Lufttransmission behandelt werden. Man kann von vornherein sagen, daß die Güte dieser Apparate hinter den nach richtigen Grundsätzen konstruierten direkten Sphygmographen zurücksteht. Die Hauptentstellungen sind bedingt durch die Träg-

heit der Mareyschen Kapsel mit Hebelregistrierung. Ich habe deshalb einen Transmissions-Sphygmographen mit photographischer Registrierung konstruiert (1904). Es ist zweifellos derjenige Apparat, der die Sphygmogramme am korrektesten und bequemsten aufzeichnet. In seiner einfachsten Form, die auf dem Physiologenkongreß in Heidelberg demonstriert worden ist, besteht er aus einem Schlauchstück, das durch eine Ligatur verschlossen ist und auf die Arterie durch eine Klemme aufgedrückt wird[1]). Es steht durch einen Schlauch mit einer Herztonkapsel (Kap. 15 B) in Verbindung. Selbstverständlich genügt die Güte dieses Apparates, um die Pulse vollständig getreu aufzuzeichnen. Außerdem ist die Masse des Apparates selbst so klein und belästigt den Beobachteten so wenig, daß Erzitterungen nicht vorkommen. Die Pulskurven, die sozusagen von beliebiger Höhe erhalten werden können, sind von ähnlicher Stetigkeit und Gleichmäßigkeit wie von einem physikalischen Phänomen aufgenommene Kurven, etwa wie reine Wellenkurven (s. auch Frank, der Puls in den Arterien 1905).

Ein derartiges Verfahren könnte wohl auch als reines bewegungsregistrierendes ausgebildet werden.

Zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Pulses werden Transmissions-Sphygmographen angewandt, die an verschiedenen Stellen des arteriellen Systems aufgesetzt werden. (Landois 1872, Keyt, Edgren 1884, Hoorweg 1889 s. Kap. 13, Grunmach 1879.)

Blix 1902 s. Kap. 15.
Brondgeest 1873. De Pansphygmograph. Utrecht.
Edgren 1889. Kardiographische und sphygmographische Studien. Skandinav. Arch. f. Physiol. I, p. 67.
Frank 1904. Die Registrierung des Pulses durch einen Spiegelsphygmographen. München. med. Wochenschr. Nr. 42.
Frank 1905. „Arterienpuls“.
Grunmach 1879. Über den Polygraphen. Berliner klin. Wochenschr. S. 470.
Keyt 1887. Sphygmography and Cardiography, physiological and clinical. New York.
Klemensiewicz 1876. Sitz.-Ber. d. kais. Akad. d. Wiss. 74, Abt. 3, p. 487.
Knoll 1879. Prager med. Wochenschr.
Mathieu et Meurisse 1875. C. R. d. l. Soc. Biol. p. 365.

Kapitel 18.

Der Pistonrekorder.

Der von Roy zuerst konstruierte Pistonrekorder besteht aus einem Zylinder, in dem ein leichter Kolben dicht gleitet. Die Bewegung des Kolbens wird durch Hebelübertragung auf eine Trommel aufgeschrieben. Mit dem Instrument sollen Volumschwankungen verzeichnet werden. Es soll damit denselben Zweck erfüllen wie eine passend konstruierte Mareysche Kapsel (s. Kap. 15).

1) Wie ich nachträglich gesehen habe, ist schon von Blix (1902) ein derartiges Schlauchstück als Geberkapsel verwendet worden.

A. Theorie des Pistonrekorders.

Die Volumregistrierung durch den Pistonrekorder.

Wenn die Reibung des Kolbens in dem Zylinder des Rekorders nicht zu sehr in Betracht käme, würde der Pistonrekorder das gegebene Instrument für die Registrierung von Volumschwankungen sein. Sowohl die statische Rückwirkung als auch die dynamische Rückwirkung ist, wie aus den Ermittlungen des Kap. 14 B hervorgeht (s. Formel (8)), am kleinsten, wenn bei der Volumübersetzung keine elastische Kraft auftritt. Die Volumregistrierung kann durch das Zwischenmittel einer inkompressiblen Flüssigkeit oder von Luft erfolgen. Die letztere ist in Kap. 14 B und D vollständig behandelt. Es bleibt nur noch übrig, die Volumregistrierung durch ein inkompressibles Zwischenmedium zu diskutieren. Eine solche Volumregistrierung findet z. B. bei der Plethysmographie statt.

Wie in Bd. I, 4 auseinander gesetzt worden ist, ist die Registrierung der Volumverrückungen, die an der Koppelstelle stattfinden, durch ein derartiges System vollständig getreu, die dynamische Korrektur wird 0.

Es ist nur die Empfindlichkeit und die Rückwirkung des Systems zu bestimmen. Die Empfindlichkeit des Rekorders, dessen Bewegungen durch einen Hebel aufgeschrieben werden, ist gleich:

$$\beta_r = \frac{v}{U} \qquad (1)$$

Die Masse des Systems bestimmt man am besten dadurch, daß man die reduzierte Masse des Hebels in denselben Ausdruck umwandelt, wie die wirksame Masse der Flüssigkeit. Diese wirksame Masse des Hebels wird zu: $\frac{\mu L v^2}{3U^2}$.

Die gesamte wirksame Masse ist dann gleich:

$$= M'_{\text{Flüssigkeit}} + \frac{\mu L v^2}{3U^2} \qquad (2)$$

Die dynamische Rückwirkung wird zu: $\frac{M' d^2V}{dt^2}$ und die wirksame Masse ist die Größe, die nach Bd. I. 4 „Prinzipien" mit der Beschleunigung des Koppelpunkts multipliziert die dynamische Rückwirkung gibt.

Die Güte in bezug auf die Rückwirkung bestimmt sich zu:

$$G = \frac{1}{M' \frac{U}{v} + \frac{L\mu}{3} \cdot \frac{v}{U}} \qquad (3)$$

Sowohl die Masse des Systems als auch die Güte ist davon unabhängig, wie die Empfindlichkeit hergestellt wird, ob durch eine große Hebelübersetzung und eine kleine Volumübersetzung und umgekehrt. Die Güte hat einen maximalen Wert für eine mittlere Empfindlichkeit oder bei einer bestimmten Hebelübersetzung für einen rationellen Querschnitt.

Daß der Pistonrekorder trotz des schweren Kolbens und des schweren Gestänges so überraschend gut registriert und nach den bisherigen Veröffentlichungen der Mareyschen Kapsel nicht nachzustehen scheint, liegt einmal

darin, daß bei den Registrierungen, zu denen er verwendet wird, die Verbindungsröhre meist mit wässerigen Flüssigkeiten gefüllt ist, so daß ihre Masse überwiegt, auf der anderen Seite aber vor allen Dingen darin, daß die Masse des Kolbens und Gestänges nur von unwesentlicher Bedeutung gegenüber derjenigen des Hebels ist. Hier gilt das, was schon gesagt worden ist, daß die Berechnung der reduzierten Masse volle Aufklärung über die Bewertung der Massen eines jeden einzelnen Teils gibt.

Sehr zu beachten ist die Reibung des Kolbens in dem Zylinder.

B. Die einzelnen Formen des Pistonrekorders.

Die erste Konstruktion dieses Instruments rührt von Roy (1880) her. Seine Beschreibung befindet sich in der Abhandlung von Cohnheim und Roy (1883). Es besteht aus einem mit Öl gefüllten Zylinder, der mit dem Raum verbunden wird, in dem sich die Volumschwankungen abspielen. Auf dem Öl schwimmt ein nach oben offener Kautschukstempel D, der die Hebelvorrichtung samt dem verbindenden Gestänge trägt. Der Kolben schließt den Zylinder nicht vollständig ab. Die Dichtung wird vielmehr durch ein Stück angefeuchtetes Kalbsperitonäum bewirkt. (s. Fig. 26.)

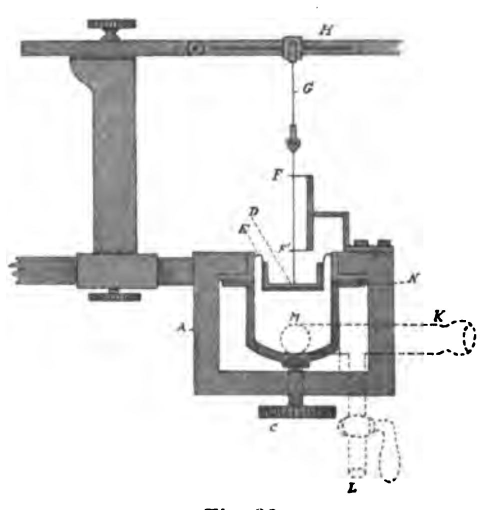


Fig. 26.
Pistonrekorder nach Roy.

Von Schäfer wurde (1884) ein ähnliches Instrument zur Registrierung der Volumänderungen des Froschherzens angewandt. Durch Ellis (1886) erhielt das Instrument im wesentlichen die Form, in der es heute gebraucht wird. Ellis gestaltete es so, daß es für Lufttransmission verwandt werden konnte. Bald darauf wurde es von Johansson und Tigerstedt (1889) zur Registrierung der Volumveränderungen des Herzens verwendet. Sie modifizierten es etwas und gaben ihm die aus der Abbildung 27 a. f. S. ersichtliche Form. Der Kolben A ist aus Ebonit und dichtet den geschliffenen Glaszylinder fast vollständig ab. Er ist von unten ausgebohrt. (Wandstärke kaum $1/_2$ mm.) Der Kolben ist durch ein Gelenk b, ein Aluminiumstäbchen c und ein Gelenk d mit dem Schreibhebel e verbunden. „Damit der Kolben luftdicht schließen und dennoch leicht beweglich sein soll, wird er mit einem leicht flüssigen Öl geschmiert. Nach den Angaben von Ellis haben wir zu diesem Zwecke Pfefferminzöl benutzt". Der Schreibhebel war äquilibriert. Auf die obere Fläche des Kolbens darf kein Öl kommen.

Hürthle (1892, S. 302—307) veränderte von diesem Apparat wesentlich die Massen. Da er aber nur die Massen und nicht die Trägheitsmomente angibt, kann man sich über die Tragweite seiner Angaben keine Vorstellung

machen. Die Leistungen des Apparats versuchte er mit dem Donders-schen Verfahren zur Prüfung der Lufttransmission zu beurteilen. Nach einer Bemerkung von Brodie (1902) hat Hürthle später einen Pistonrekorder konstruiert, bei dem die Öldichtung vermieden werden sollte. Er besteht aus einem Metallzylinder, in dem der leichte Hartgummikolben luftdicht eingeschliffen ist. Nach der Angabe von Brodie war das von ihm bezogene Exemplar jedoch undicht.

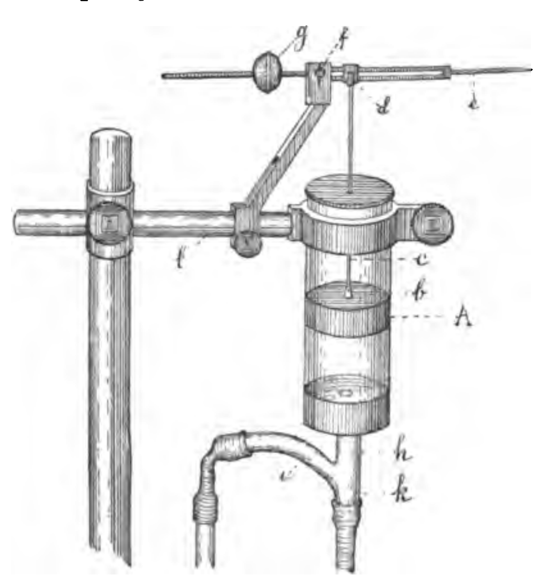


Fig. 27.
Pistonrekorder (Ellis, Johansson und Tigerstedt).

Von Lombard und Pillsburg (1899) wurde ein Pistonrekorder gebraucht, bei dem der Kolben aus einer Gipsscheibe von 5—4 mm Dicke bestand. Er bewegt sich in einer Glasröhre von ungefähr 4 mm Weite. In der Mitte der Gipsscheibe ist eine etwa halbkugelförmige Vertiefung, in die der durch adhärierenden Gips vergrößerte kugelförmige Knopf einer Nadel paßt. Das ganze stellt ein Kugelgelenk dar, das die Verbindung der Gipsscheibe mit dem Hebel vermittelt. Für die Verwertung dieser Angaben zu einer Kritik fehlt die Angabe des Trägheitsmoments des Hebels, das wahrscheinlich nicht gering ist.

Blix (1902) hat durch Sandström einen Pistonrekorder kontruieren lassen, bei dem Zylinder und Kolben aus glashartem Stahl bestehen. Schlayer (1906) beschreibt einen nach den Angaben von O. Müller (1904) konstruierten Pistonrekorder. Sein Kolben besteht aus einem hohlen Hartgummizylinder, der oben geschlossen und unten offen ist. Er berührt nur mit zwei Führungsringen die Innenwand der Glasröhre, und auch hier nicht flüssigkeitsdicht. Zur Füllung der Glasröhre dient Petroleum. Der Kolben ist durch ein passendes Gestänge mit dem äquilibrierten Hebel verbunden. Die ganze Vorrichtung ist mehr einem Schwimmer als einem flüssigkeitsdichten Piston ähnlich. Noch mehr der Form eines Wassermanometers nähert sich der Apparat von Postma (1909). Die Bewegungen des Schwimmers werden photographisch registriert. Nicht zu verstehen ist, warum die Schwankungen des Meniskus nicht unmittelbar photographisch registriert werden.

Blix, 1902, s. Kap. 15.
Brodie 1902. S. Kap. 15.
Cohnheim und Roy 1883. Untersuchungen über die Zirkulation der Nieren. Arch. f. pathol. Anat. XCII, S. 424.
Ellis 1886. Description of a pistonrecorder for air-connection. Journ. of physiol. VII, S. 309.
Hürthle 1892. Beiträge zur Hämodynamik. 8. Abhandlg. Kritik des Lufttransmissionsverfahrens. Arch. f. d. ges. Physiol. LIII, S. 281.

Johansson und Tigerstedt 1889. Gegenseitige Beziehungen des Herzens und der Gefäße. Skandin. Arch. f. Physiol. I, S. 345.
Lombard und Pillsbury 1899. A new form of piston-recorder and some of the changes of the volume of the finger, which it records. Amer. Journ. of physiol. III, S. 186.
Müller 1904. Über eine neue Methode zur Aufzeichnung der Volumschwankungen bei plethysmographischen Untersuchungen am Menschen. Arch. f. Anat. u. Physiol. Suppl., S. 203.
Postma 1904. Neue Methode zur Registrierung der Pulswelle. Zentralbl. f. Physiol. 18, S. 495.
Roy 1881. The physiology and pathology of the spleen. 1. Communication. (Cambridge physiol. Labor.) Journ. of physiol. III, S. 203.
Schäfer 1884. The piston recorder; an apparatus for recording and measuring the changes of volume of the contracting frog's heart. Journ. of physiol. V, S. 130.
Schlayer 1906. Eine neue Schreibvorrichtung für plethysmographische Kurven mit sehr kleinen Schwankungen. Zentralbl. f. Physiol. 20, S. 257.

Kapitel 19.

Geschwindigkeitsmessung.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit, mit der das Blut in den Gefäßen strömt, dienen folgende Methoden und Apparate:

1. Die Stromuhr.
2. Das hydrometrische Pendel.
3. Das Prinzip der Pitotschen Röhren.
4. Die Bestimmung der in der Zeiteinheit aus einer Vene des betreffenden Gebietes ausfließenden Blutmenge.

Mit den Methoden 1 und 4 kann die Änderung der Stromstärke oder des Sekundenvolums, d. h. des in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt des betreffenden Gefäßgebietes strömenden Blutes nur nach dem Verlauf längerer Zeitintervalle festgestellt werden (innerhalb dieser Zeitintervalle nur die mittlere Stromstärke), mit den Methoden 3 und 4 sollen auch raschere Veränderungen etwa innerhalb einer Herzschlagperiode ermittelt werden können. Die Methode 4 wird in Teil II, Kap.: „Geschwindigkeit des Blutes in den Gefäßen" beschrieben.

A. Die Stromuhr.

Die von Ludwig erfundene Stromuhr ist das Instrument, mit dem man den Mittelwert der Stromstärke oder des Sekundenvolumens für Intervalle von einigen Sekunden in größeren Gefäßen, Arterien oder Venen bestimmen kann, ohne daß die Strömung wesentlich gestört ist. Ein Vorläufer der Stromuhr ist das von Volkmann 1846 (Veröffentlichung in der Dissertation von Hüttenhain) angegebene Hämodromometer. Es besteht aus einer U-förmig gebogenen Glasröhre, die in den Verlauf einer Arterie eingeschaltet wird. Ihr Inhalt ist bekannt. Die Glasröhre wird vor dem Versuch mit Wasser gefüllt. Durch Hahnschaltung wird mit dem Beginn des Versuches die Verbindung der Wassersäule mit dem Kreislauf bewirkt. Sie wird durch die eindringende Blutsäule verdrängt. Mißt man die Zeit, die dazu notwendig ist, um die Glasröhre vollständig mit Blut zu füllen, so ergibt der Quotient aus dem Inhalt der Glasröhre und dieser Zeit das Se-

kundenvolumen. Diese Methode erlaubt natürlich nur eine einmalige Bestimmung. Zudem ist die Beobachtungszeit wegen des geringen Volumens der Glasröhre nur sehr kurz.

Die beiden Verbesserungen, die Ludwig durch die Konstruktion seiner Stromuhr erzielte, bestehen in der Aufhebung dieser Nachteile. Die Ludwigsche Stromuhr, deren Konstruktion in der Abhandlung von Dogiel

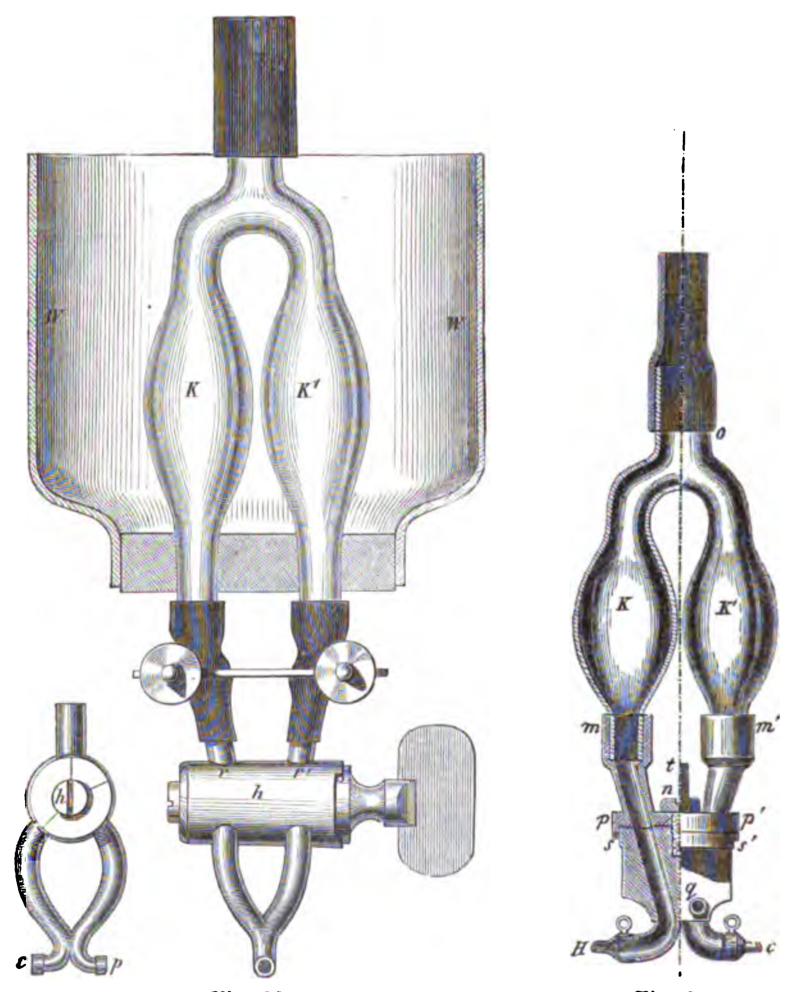


Fig. 28. Fig. 29.
Ludwigsche Stromuhr. Fig. 28 mit feststehenden, Fig. 29. mit beweglichen Birnen.

veröffentlicht ist (s. d. nebenstehenden Abbildungen), ist so bekannt, daß kaum eine Beschreibung notwendig erscheint.

Die einfache U-förmig gebogene Glasröhre des Volkmannschen Apparats ist bei der Ludwigschen Stromuhr durch zwei miteinander kommunizierende Kugeln, Birnen oder Zylinder ersetzt. Durch eine sinnreiche Einrichtung wird es ermöglicht, daß das Blut zunächst in der einen Richtung

strömt und dann, nachdem es eine zur Markierung dienende Flüssigkeit, gewöhnlich Öl, bis zu einer Marke vorgeschoben hat, seine Strömungsrichtung wechselt. Dieser Wechsel wird auf zwei verschiedene Arten erreicht. Bei der einen Modifikation (Fig. 28.) steht das Röhrensystem fest und die Strömungsrichtung wird durch einen Stromwender, d. h. durch ein System von Röhren und miteinander verkoppelten Hähnen gewechselt. Bei der anderen Art (Fig. 29) wird das Kugelpaar flüssigkeitsdicht

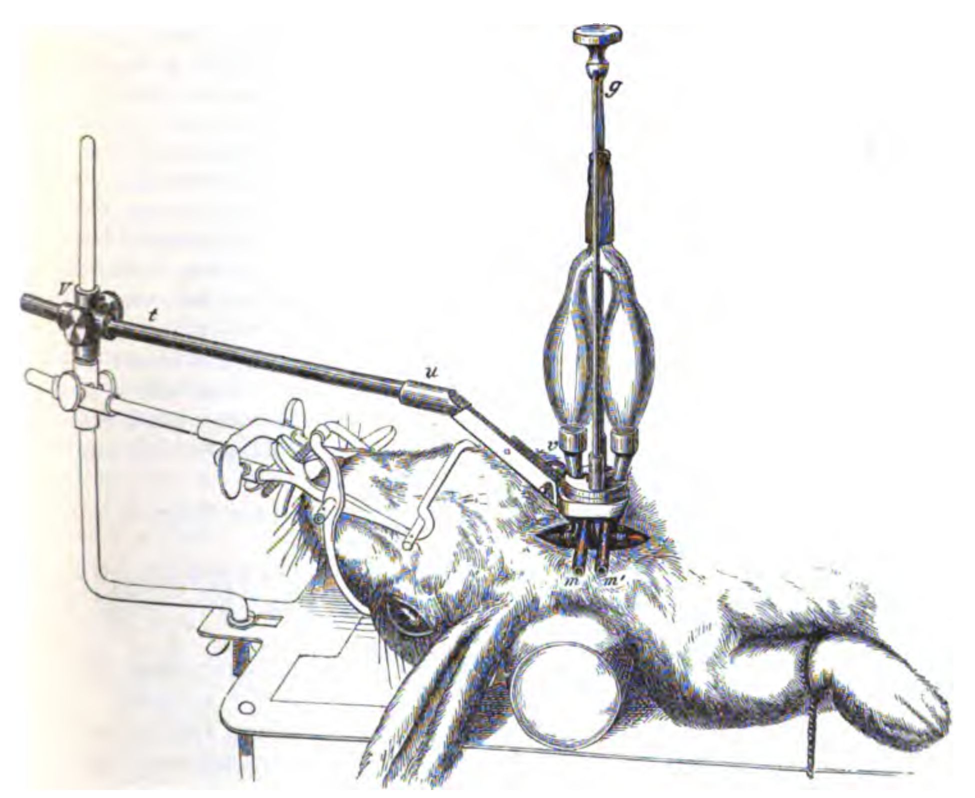


Fig. 30.
Stromuhr in den Kreislauf eingeführt.

über den fest im Raum stehenden zentralen und peripheren Enden des Gefäßes nach der Verschiebung der Marke jedesmal um 180° gedreht. Beide Modifikationen der Stromuhr sind noch jetzt im Gebrauch. Die erstere wurde mit einer kleinen Abänderung von Stolnikow und Pawlow (s. Kap. 24 „Das isolierte Warmblüterherz“) benutzt. Ihr Prinzip liegt auch dem Bau der Hürthleschen registrierenden Stromuhr zugrunde. Ich beschreibe hier die am häufigsten gebrauchte einfachere zweite Modifikation mit den Worten Tigerstedts (s. Lehrbuch S. 353): „Die Stromuhr besteht aus zwei gleich großen Glaskugeln (K, K′), deren Inhalt bekannt ist, und welche nach oben durch eine U-förmige Biegung direkt ineinander übergehen. An der konvexen Seite des Bogens sitzt ein kurzes, verschließbares Abzugsrohr (o). Die

beiden Kugeln stehen mit je einem Ende (H, C) der Arterie in Verbindung. Wenn K bei Beginn des Versuches mit dem zentralen Ende und K′ mit dem peripheren Ende der Arterie kommunizieren soll, so wird K′ mit defibriniertem Blute, K mit Öl gefüllt. Die beiden Flüssigkeiten berühren einander nach oben an der Grenze der beiden Kugeln. Nun wird das Blut zugelassen (durch Lüften der beiden Arterienklemmen): Es dringt das Öl aus K nach K′, während das Blut dieser letzteren Kugel durch C entweicht. Ist die Kugel K bis zu ihrer unteren Grenze mit Öl gefüllt, so dreht man rasch die Kugel um, so daß nun K′ dem zentralen und K dem peripheren Ende der Arterie zugekehrt ist. In dieser Weise kann der Versuch fortgesetzt werden, bis das Blut gerinnt oder die Grenze zwischen dem Öl und dem Blute infolge ihrer Mischung verwischt wird. Da die Räumlichkeit der Kugeln und die Zahl der Umdrehungen in einer gewissen Zeit festgestellt sind, ergibt sich das Sekundenvolumen in der betreffenden Arterie ohne weiteres." Zur Verbindung des Apparats mit den Enden der vor dem Einsetzen auseinander geschnittenen Arterie werden kurze Kanülen benutzt, die auf die Röhrenenden H und C der Stromuhr aufgeschliffen sind. Man muß sich einen Satz solcher Kanülen vorrätig halten. Für die Wahl dieser Kanülen gibt Dogiel S. 209 folgende Vorschrift.

„Wenn nun die Arterie bloßgelegt ist, so mißt man mit einem Tasterzirkel ihren äußeren Durchmesser und sucht sich unter dem Kanülenvorrat dasjenige Paar aus, dessen engste Mündung um etwas weiter als der äußere Durchmesser der Arterie ist, und setzt dieses in die letztere ein, was trotz der größeren Weite der Kanüle immer möglich ist."

Von den Verhaltungsmaßregeln und Vorschriften, die Dogiel mitteilt, wähle ich noch die folgenden als bemerkenswert aus:

S. 207. „Bei Versuchen an kleinen Hunden dienten Apparate mit einem Kugelraum von 6,1 bis 6,3 CC, bei Versuchen an Kaninchen endlich faßte jede der Kugeln nur 2 CC."

S. 211. „Zu dieser Feststellung (des Kopfes der Tiere) dient der sehr zweckmäßige und sinnreich konstruierte Kopfhalter von Czermak.

Für meinen Zweck war der Halter um so wertvoller, weil er den Blutstrom durch die Kopfhaut in keiner Weise beeinträchtigt und das Tier nicht schmerzhaft erregt, was dem früher im hiesigen Laboratorium gebrauchten und von Lovén beschriebenen Kopfhalter nicht nachgerühmt werden kann.

Bei größeren Hunden bedarf man seiner nicht; bei ihm reicht man mit dem bekannten an einem Eisenstab befestigten Knebel aus, bei welchem die Zange des Czermakschen Kopfhalters durch eine Schnur ersetzt ist."

S. 214. „Füllung des Apparates: Das Blut, welches ursprünglich in beide Metallröhren und in eine der Kugeln eingeführt ist, habe ich immer von einer Tiergattung genommen, die mit derjenigen gleichnamig war, an welcher ich den Versuch anstellen wollte. Es war frisch geschlagen und durch Leinwand filtriert. — Das Öl, welches ich anwendete, war neutrales Olivenöl, das anhaltend und mit wiederholt erneuerten Quantitäten von Wasser erwärmt und geschüttelt wurde. Hierdurch entzieht man dem Öl bekanntlich seine schleimigen Bestandteile, die Entfernung derselben ist durchaus notwendig, weil sich ohne dieses das Öl beim Hingang an der

Glaswand nicht loslöst, so daß alsdann die Grenze zwischen Blut oder Öl keine scharfe wird."

S. 215. „Die Einfüllung des Blutes muß der des Öles vorausgehen; sie geschieht mit einer Spritze, die durch ein Kautschukröhrchen an die Ein- und Ausflußmündung des Apparats gesetzt wird, von unten her. An der einen Seite füllt man die Kugel so weit, daß das Blut bis an die Marke reicht, welche oberhalb der Kugel eingebracht ist; die andere Seite füllt man dagegen nur bis zu der Marke unterhalb der Kugel mit Blut. Ist die Einfüllung des Blutes geschehen, so dreht man die Scheibe, welche die Kugel trägt, um einen rechten Winkel, mit anderen Worten: man gibt ihnen eine Stellung, bei welcher ihre unteren Öffnungen abgeschlossen sind. In dieser Lage führt man alsdann das Öl ein, und zwar durch die Öffnung des Röhrchens, das senkrecht aus dem Verbindungsbogen der beiden Kugeln emporsteigt, mittels einer fein ausgezogenen Glasröhre, damit das eindringende Öl der im Apparat enthaltenen Luft den Austritt nicht verwehrt. Ist der vom Blute übrig gelassene Raum mit Öl erfüllt, so verschließt man die Öffnung des senkrechten Füllungsröhrchens."

„Wegen der reizenden Wirkung, welche ein Blut von niederer Temperatur auf die Gefäßmuskeln und bei Versuchen an der Carotis auf das Hirn ausübt, muß man es für wünschenswert halten, daß das Blut, welches aus dem Apparat in die Gefäßbahnen eindringt, der normalen Körperwärme möglichst gleichkomme."

Deshalb hat Dogiel bisweilen die Kugeln mit einem Wassermantel umgeben, der sich natürlich am leichtesten um die feststehenden Kugeln (s. oben Fig. 28) anbringen läßt. Später ist diese Vorsichtsmaßregel nicht mehr gebraucht worden.

S. 216. „Da sich die Zahl der Beobachtungen, die ich mit demselben Kugelpaar ausführte, allzu sehr häufen, und da ich mir immer mehrere Apparate vorbereitet hatte, so konnte ich unbeschadet einer weiteren Fortsetzung des Versuchs nach einer beschränkten Zahl von Kugeldrehungen die Arterie oberhalb und unterhalb der Uhr schließen, dieselbe herausnehmen und durch eine andere ersetzen."

Die Drehungen der Stromuhr wurden bei den ersten Untersuchungen durch ein mechanisches Verfahren, später durch passend angebrachte Kontaktvorrichtungen elektrisch registriert.

Ein größerer Teil der Dogielschen Abhandlung beschäftigt sich mit der Feststellung des Stromwiderstandes in der Stromuhr durch die Beobachtung des Drucks vor und hinter der Stromuhr. Er wurde im allgemeinen so niedrig gefunden, daß er die Beobachtungen nicht störte.

Tigerstedt (1891 S. 151) hat seine Stromuhr der Ludwigschen nachgebildet. „Der Hauptteil besteht aus einem horizontal gestellten gläsernen Meßzylinder, in welchem sich eine hohle Metallkugel befindet. Diese Kugel ist der Lichtung des sehr gut geschliffenen Meßzylinders angepaßt und wird von dem durch den Apparat strömenden Blut vorwärts bewegt. Wenn die Kugel an dem peripheren Ende des Zylinders angekommen ist, wird der Zylinder mittels des bei der Stromuhr Ludwigs benutzten Mechanismus umgedreht und das Blut schiebt die Kugel wieder vorwärts. Die Abgrenzung des strömenden Blutes geschieht durch die Kugel: die zwischen je

zwei Umdrehungen des Meßzylinders durch den Apparat strömende Blutmenge ist dem Kubikinhalt des Zylinders (die Kugel abgerechnet) gleich."

Tigerstedt prüfte, daß die Kugel den Zylinder fast luftdicht abschließt. Er berechnet, daß, wenn die Differenz zwischen dem Durchmesser der Kugel und des Zylinders 0,1 mm beträgt, unter ganz ungünstigen Annahmen das Vorbeipassieren der Flüssigkeit an der Kugel nur einen Fehler von 0,4 % bedingt. Es zeigt sich weiter, daß in die 0,6 %-ige Kochsalzlösung, mit der der Apparat vor dem Versuch gefüllt ist, keine Spur Blut durch den Zwischenraum zwischen Kugel und Wand eindringt. Die Masse der Kugel dürfte als bewegungshemmend nicht in Betracht kommen. Der Hauptwiderstand rührt wohl von der Reibung her. Die Verbindung der Stromuhr mit den Arterien geschieht mit Kautschukschläuchen, die an ihren Enden Ansätze für Kanülen haben. Diese sind ebenso gestaltet wie bei der Ludwigschen Stromuhr. Die Umdrehungen der Stromuhr werden elektrisch signalisiert. Zwischen den Röhren, die von dem Umschalter nach unten ausgehen, kann eine Kommunikation durch einen Hahn hergestellt werden. Bei einer Stellung des Hahns fließt das Blut von den Kanülen durch die Kautschukröhren zu dem Zylinder der Stromuhr und durch die andere Kanüle wieder in das periphere Ende der Arterie. Bei der anderen Stellung des Hahns wird eine direkte Verbindung unter Vermeidung des Wegs durch den Zylinder zwischen den beiden Kanülen hergestellt. Tigerstedt verwendet zwei Stromuhren, eine von einem Inhalt von 2,5 ccm (ohne die Kugel), die andere von einem Inhalt von 10 ccm.

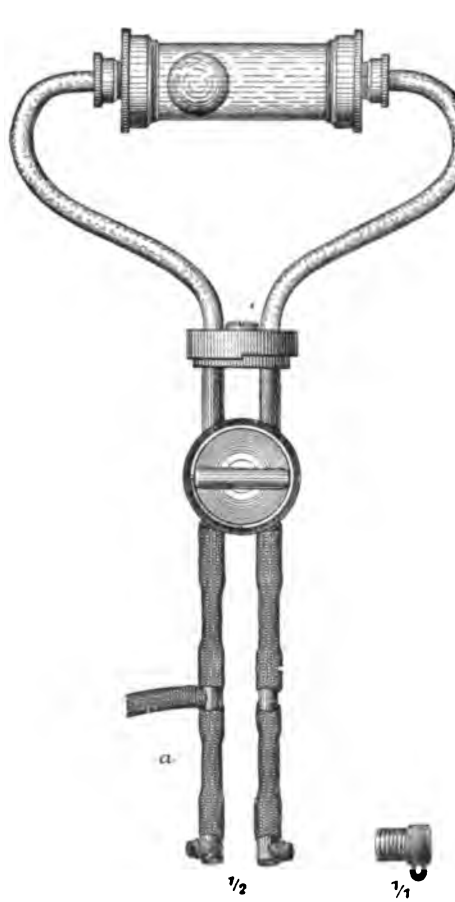


Fig. 31.
Stromuhr von Tigerstedt mit Kanüle.

Von Tigerstedt und seinen Schülern ist eine große Reihe von wichtigen Untersuchungen mit dieser Stromuhr ausgeführt worden, so Studien über das Sekundenvolum in der Aorta, in der Bauchaorta und in der Nierenarterie. Unterstützt wurde die Verwendungsfähigkeit des Apparates in der letzten Zeit sehr durch die Aufhebung der Gerinnung des Blutes durch Hirudin (s. das Kapitel in Teil III). Über die speziellen Methoden, die bei diesen Untersuchungen zur Anwendung gekommen sind, wird in Teil II und III berichtet.

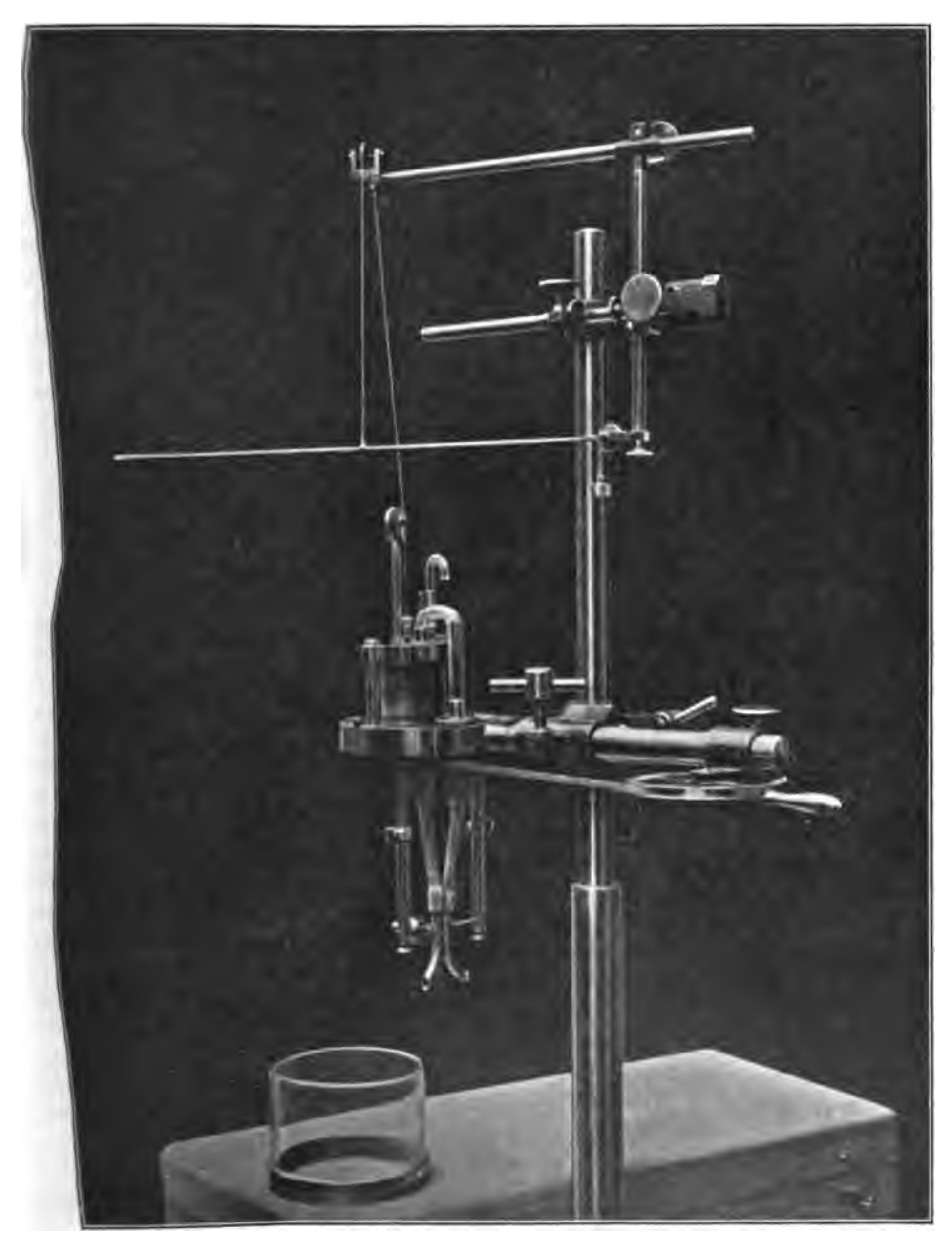


Fig. 32.
Registrierende Stromuhr nach Hürthle.

Hürthle (1901 und 1903) hat eine registrierende Stromuhr konstruiert. In dem senkrecht und fest stehenden Zylinder der Stromuhr bewegt sich eine wasserdicht eingepaßte Hartgummischeibe an Stelle der von Tiger-

stedt gebrauchten Glaskugel. Mit dieser Hartgummischeibe ist eine Stange verbunden, die sich in einer im oberen Deckel befindlichen Stopfbüchse bewegt. Die Stange überträgt durch Faden und Rolle ihre Bewegungen auf einen Hebel. Das Blut strömt von der zentralen Kanüle zunächst durch ein längeres Schlauchstück hindurch zu einer Bohrung, die sich in einer unterhalb des Bodens des Zylinders angebrachten Drehscheibe befindet. Durch diese Bohrung strömt es in den unter dem Kolben befindlichen Zylinderraum und drückt den Kolben in die Höhe. Hierdurch wird das über dem Kolben stehende Blut durch eine Röhre des oberen Zylinderdeckels wieder nach unten nach einer zweiten Bohrung der Drehscheibe geführt. Von hier aus gelangt es durch einen zweiten Gummischlauch zu der peripheren Kanüle und in das periphere Ende des Gefäßes. Ist der Kolben bis an den oberen Deckel des Zylinders gelangt, so wird die Drehscheibe um 180° gedreht. Dadurch gelangt der zentrale Gummischlauch samt der mit ihm verbundenen Bohrung der Drehscheibe unter die Röhre, die in den oberen Deckel ausmündet. Das Blut strömt hier ein, drückt den Kolben nach unten und das Blut durch die andere Bohrung und den anderen Schlauch in das periphere Ende der Arterie. Es ist selbstverständlich, daß die Bewegung des Kolbens mit großer Reibung erfolgt. Man kann an dem Anstieg bezw. Abstieg der Kurven wohl ziemlich gut die einzelnen Herzschläge erkennen, aber die Kurven sind wegen der starken Dämpfung nicht charakteristisch. Da also zweifellos innerhalb der Herzperiode die Geschwindigkeitskurven nur entstellt wiedergegeben werden, da weiter eine automatische Umschaltung nach Hürthle unzweckmäßig ist, so daß auch bei seiner Stromuhr eine Umschaltung mit der Hand stattfinden muß, so hat diese Konstruktion wohl keinen Vorteil vor der Ludwigschen oder Tigerstedtschen Stromuhr. Der Beginn der Umdrehung kann bei diesen Apparaten auf die einfachste Weise markiert werden, wie dies ja schon von Ludwig immer ausgeführt worden ist. Auf der anderen Seite sind sie einfacher zu handhaben, leichter zu kontrollieren und unter allen Umständen kann die Rückwirkung des Apparates bestehend in dem Widerstand, den er setzt, geringer gehalten werden als bei dem Hürthleschen Instrument.

Mit der Hürthleschen Stromuhr sind eine Reihe von Untersuchungen angestellt worden, so u. a. von Burton-Opitz (1906, 07, 08).

Burton-Opitz (1906—08) hat eine Stromuhr konstruiert, die der Hürthleschen im Prinzip ähnlich ist. Sie besteht ebenso wie diese aus einem Zylinder, in dem sich ein Kolben befindet, dessen Bewegungen durch einen Schreibhebel registriert werden können. Der Zylinder ist jedoch wagerecht gelegt. Die Umschaltung des Blutstroms geschieht durch eine Drehscheibe, die ähnlich wie bei den Ludwigschen Stromuhren konstruiert ist. Das Instrument ist für die Messung des Blutstroms in den Venen bestimmt. Angaben über den Widerstand der Stromuhr habe ich nicht auffinden können. Man muß also abwarten, ob sich das Instrument bewährt.

Cohnstein und Zuntz (1884) haben eine etwas vereinfachte Stromuhr bei ihren Untersuchungen über den Kreislauf des Fötus benutzt. Sie schreiben darüber:

S. 202, 203. „In anderen Versuchen, bei denen gleichzeitig die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ermittelt werden sollte, diente uns zum Auffangen

des Blutes dieselbe Art von Stromuhr, welche Finkler bei seinen Untersuchungen über den Einfluß der Stromgeschwindigkeit auf die Blutgase benutzt hat. Zwei möglichst identische Glaszylinder von etwa 40 ccm Inhalt waren, der eine mit frisch ausgepreßtem Mandelöl, der andere mit defibriniertem und mit seinem gleichen Volumen 0,6 % Kochsalzlösung verdünntem Hammelblut gefüllt. Die oberen, mäßig verjüngten Enden der Zylinder kommunizierten miteinander durch einen kurzen weiten Kautschukschlauch; die unteren Enden, ähnlich verjüngt, wurden durch kurze Kautschukschläuche mit den Kanülen verbunden, welche in den Enden der durchschnittenen Gefäße befestigt waren. Das eintretende Blut des Versuchstieres verdrängte so das Öl, und dieses drückte das defibrinierte Blut in das andere Ende der durchschnittenen Ader. Der mit Öl gefüllte Zylinder trug von 5—5 ccm eine Marke. Die Momente, wo das Blut je einen dieser Teilstriche erreichte, wurden mit Hilfe des Abszissenschreibers auf die Kymographionkurve markiert oder auch direkt nach einer Sekundenuhr protokolliert." S. 204. „Wir können demgemäß schließen, daß unter den Verhältnissen, wie sie am lebenden Fötus herrschen, die Stromgeschwindigkeit durch Einschaltung der Stromuhr nur um etwa 5 % verzögert wird."

B. Das hydrometrische Pendel.

Um die Veränderung der Blutgeschwindigkeit innerhalb kürzerer Perioden aufzuschreiben, muß man sich besonderer Methoden bedienen. Den Weg hierzu hat zuerst Vierordt (1858) mit seinem hydrometrischen Pendel gezeigt. Ein kleines gravitierendes Pendelchen, das in die Strombahn eingeführt wird, wird um so mehr aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist. Vierordt schaltet ein kleines Glaskästchen, in dem sich ein solches Pendelchen befindet, in die Strombahn ein und beobachtet die Ablenkungen aus der Gleichgewichtslage. Der Beobachter folgt diesen Bewegungen mit einer Hebelvorrichtung, die, von der Hand bewegt, die Exkursionen des Pendels auf einer Schreibtrommel aufschreibt. Diese Vorrichtung ist natürlich sehr unvollkommen; daß sich aber ihr Prinzip zur graphischen Registrierung benutzen läßt, ist von Chauveau und Lortet (1860 und 1866) gezeigt worden, die es zur Konstruktion ihres Dromographen verwendet haben. Das Schema dieses Dromographen ist aus der nebenstehenden Abbildung zu ersehen. Er besteht aus einer Röhre pc, die in den Verlauf der Arterie eingesetzt ist. Mit ihr kommuniziert eine kleine Kammer n, die mit einer Membran verschlossen ist. Durch die Membran ist die Nadel des Pendelchens durchgesteckt. Sie schlägt mit ihrem äußeren Ende gegen die Membran einer Mareyschen

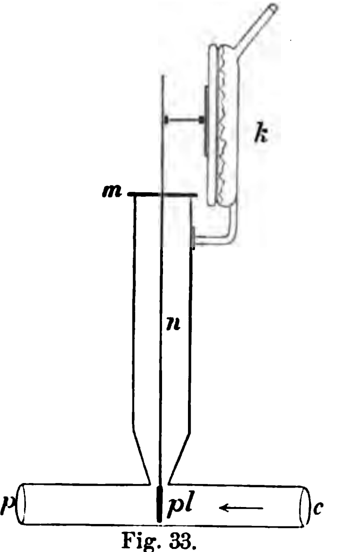


Fig. 33.
Hämodromograph nach Chauveau-Lortet. Schema.

Kapsel k, deren Bewegungen durch Lufttransmission auf die Schreibkapsel übertragen werden. Eine Kritik dieses Instrumentes steht noch aus. Der Ausschlag dieses Pendels ist auch direkt beobachtet (Hämodromometer) oder registriert worden (La circulation S. 307. S. auch Tigerstedt, Ergebnisse d. Physiologie VIII, 1909, S. 642). Vergl. Abbild. 34.

C. Das Prinzip der Pitotschen Röhrchen.

Das Prinzip der Pitotschen Röhrchen wird in der Technik vielfach zur Messung der Flüssigkeitsströmung benutzt. Senkt man zwei Röhrchen so in eine Strömung ein, daß gegen die Öffnung des einen die Flüssigkeit hinströmt, während sie von der umgekehrt gelegenen Öffnung des anderen

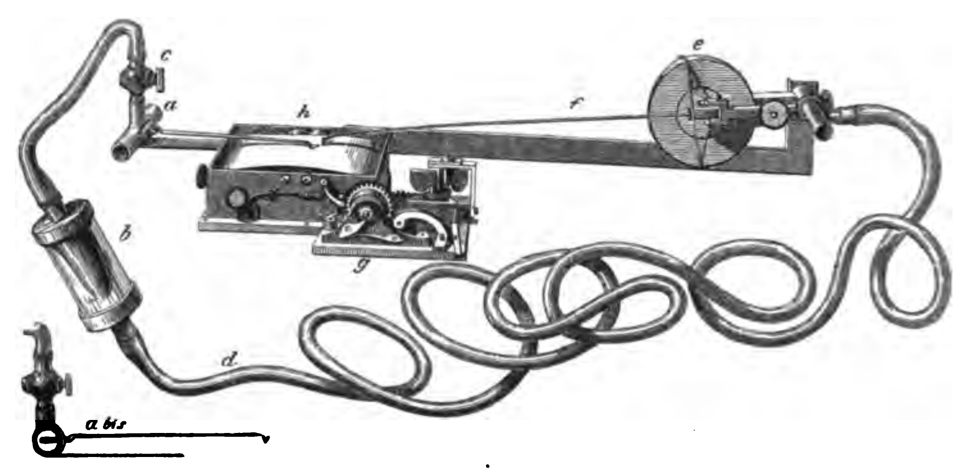


Fig. 34.
Hämodromograph (a) mit Sphygmoskop (b-f).

wegströmt, so steigt die Flüssigkeit in beiden Röhrchen verschieden in die Höhe. Sie weisen eine Druckdifferenz auf, die mit wachsender Geschwindigkeit der Flüssigkeit wächst. Theoretisch ist die Abhängigkeit der Druckdifferenz von der Größe der Geschwindigkeit schon durch Bernoulli entwickelt worden. Vierordt (1858) und Marey (in „la circulation“ S. 310) haben auf dieses Prinzip aufmerksam gemacht. Zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit ist es benutzt worden von Cybulski (1885) und von mir (1898). Cybulski hat zur Registrierung der Druckdifferenz, die in den beiden in die Blutbahn eingesetzten Röhrchen hervorgerufen wird, ein Differentialmanometer angewandt, das aus zwei Flüssigkeitssäulen besteht, die sich in einem U-förmigen Rohr befinden. Die eine Flüssigkeitssäule kommuniziert mit dem einen Pitotschen Röhrchen, die andere mit dem anderen. Getrennt sind sie voneinander durch Luft, die in der Biegung der Röhre enthalten ist. Die Druckdifferenz findet ihren Ausdruck in dem verschieden hohen Stand der Flüssigkeitssäulen. Die Differenz in diesen Höhen wird photographisch registriert. Da dieses Differentialmanometer zur Feststellung der raschen Schwankungen der Druckdifferenzen nur wenig geeignet ist, habe ich ein anderes Differentialmanometer angewandt, das im wesent-

lichen aus einer Membran besteht, die in einem Kästchen zwischen zwei Flüssigkeitssäulen ausgespannt ist, die mit den Pitotschen Röhrchen kommunizieren. Man kann sicher sagen, daß der Cybulskische Apparat

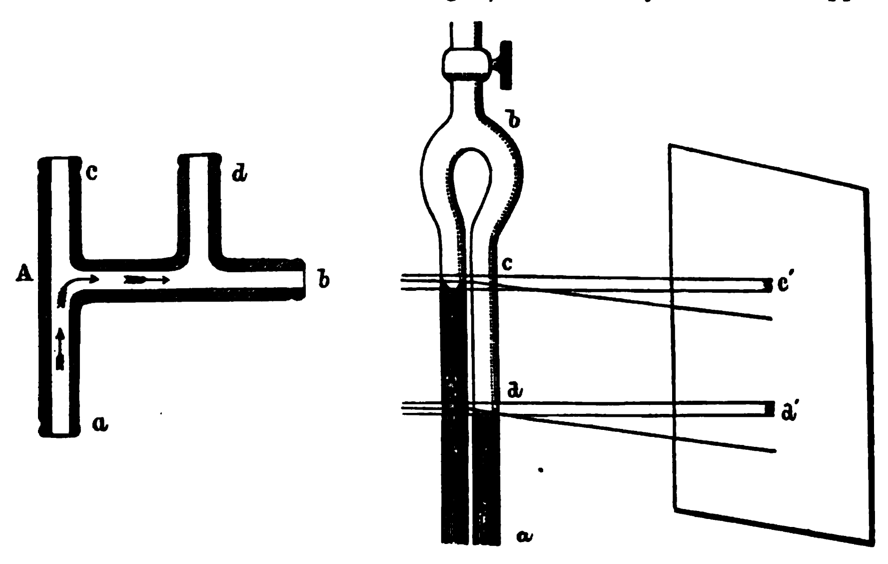


Fig. 35a.
Geschwindigkeitsmessung nach Cybulski.
Modifizierte Pitotsche Röhre.

Fig. 35b.
Differentialmanometer.

für die Bestimmung rascher Geschwindigkeitsänderungen ungenügend ist, denn die Güte eines Wassermanometers ist hierfür zu gering. Aber auch meine Konstruktion bedarf einer eingehenden Kritik und einer vollständigen Umarbeitung, wie am Schlusse meiner Abhandlung bemerkt worden ist. Diese Umarbeitung läßt sich auf Grund der allgemeinen Prinzipien der Manometer-Kritik jetzt durchführen. Sie ist bereits in die Wege geleitet. Dann dürfte dieses Instrument dasjenige sein, das vor allen anderen dazu bestimmt ist, die Geschwindigkeitsveränderungen zu registrieren. Daß es zur Verbindung mit der Aorta benutzt werden kann, ist von mir gezeigt worden. Man kann dazu die beiden Pitotschen Röhrchen in einem Doppelkatheter vereinigen, der durch eine Carotis bis zum Lumen der Aorta vorgeschoben werden kann. Die verschiedenen Konstruktionen von Cybulski und mir sind aus den nebenstehenden Abbildungen ersichtlich (s. auch S. 62).

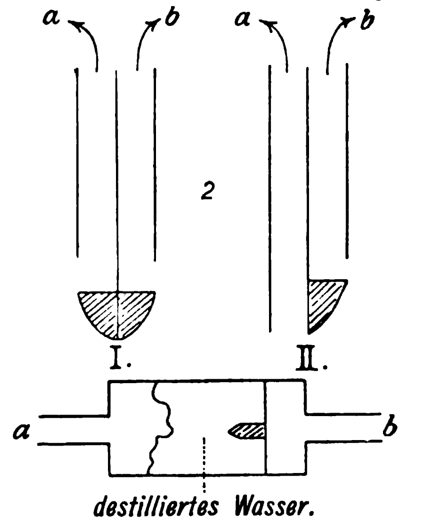


Fig. 36.
Pitotsche Röhrchen und Differentialmanometer, von dem Verfasser konstruiert.

Zanietowsky (1900) hat die Cybul-

skische Röhre so modifiziert, daß sie leicht auseinander genommen werden kann. Ihr Hauptteil besteht aus Glas.

Bayliss (1893 S. 306) hat mit einem Cybulski-Differentialmanometer die Druckdifferenz zwischen der Aorta (an der Bifurkation in die iliacae) und der tiefen Femoralarterie gemessen.

Bayliss 1893. On the physiology of the depressor nerve. Journ. of physiol. XIV, p. 303.
Burton-Opitz 1906. „Vorzeigen einer neuen Stromuhr." Verhandl. der soc. for exper. biology and medicine New York, Physiol. Zentralbl. p. 797.
Burton-Opitz 1907. Das Verhalten der Venenklappen und des Venenstromes bei Variationen des Intraabdominaldruckes. Zentralbl. f. Physiol. 21, p. 95.
Burton-Opitz 1908. Eine Stromuhr für die Messung der Blutvolumina der Venen. Pflügers Arch. Bd. 121, p. 150.
Chauveau, Bertholus et Laroyenne 1860. Vitesse de la circulation dans les artères du cheval d'après les indications d'un nouvel hémodromomètre. Journ. de physiol. de l'homme III, p. 695.
Cohnstein und Zuntz 1884. Untersuchungen über das Blut, den Kreislauf und die Atmung beim Säugetier-Fötus. Pflügers Arch. XXXIV, p. 173.
Cybulski 1885. Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit des Blutes in den Gefäßen mit dem neuen Apparat: Photohämotachometer. Pflügers Arch. XXXVII, p. 382.
Dogiel 1868. Die Ausmessung der strömenden Blutvolumina. Sitzungsber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig XX, p. 200.
Frank 1898. Die Benutzung des Prinzips der Pitotschen Röhrchen zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit. Zeitschrift für Biologie XXXVII, p. 1.
Hürthle 1901. Demonstration einer Stromuhr, welche die strömenden Blutvolumina direkt auf dem Kymographion registriert. (Physiol. Kongr. Turin.) Arch. ital. de biol. XXXVI, p. 53.
Hürthle 1903. Beschreibung einer registrierenden Stromuhr. Arch. f. d. ges. Physiol. 97, p. 183, Taf. 3–5.
Hüttenhain 1846. Observationes de sanguinis circulatione haemodromometri ope institutae. Inaug.-Diss. Halle 1846.
Landergren und Tigerstedt 1892. Studien über die Blutverteilung im Körper, 2. Abhandl. Die Blutzufuhr zu der Niere. Skandinav. Arch. f. Physiol. IV, p. 241.
Lortet 1866. Recherches sur la vitesse du cours du sang dans les artères du cheval au moyen d'un nouvel hémadromographe. Paris 1867.
Tigerstedt 1891. Studien über die Blutverteilung im Körper. 1. Abhandlung. Skandinav. Arch. f. Physiol. III, p. 145.
Tigerstedt 1905. Die Geschwindigkeit des Blutes in den Arterien. Ergebnisse der Physiol. IV, 2. Abt., p. 281.
Vierordt 1858. Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. 1. Auflage, Berlin.
Volkmann 1846 s. u. „Hüttenhain".
Zanietowski 1900. Kurzer Beitrag zur Lehre der Kreislaufsgeschwindigkeit. Z. f. Biol. XXXIX, p. 271.

Kapitel 20.

Bestimmung der Viskosität. Der Widerstand.

Der Koeffizient der inneren Reibung einer Flüssigkeit läßt sich in Versuchen, bei denen die Flüssigkeit durch enge gerade Röhren strömt, bestimmen. Für eine derartige Strömung gilt, solange die Grenze der Turbulenz nicht erreicht ist, das von Poiseuille, experimentell von Hagenbach, nach der Theorie der Bewegungen reibender Flüssigkeiten aufgestellte Gesetz.



Auf Grund dieses Gesetzes sind schon früh Bestimmungen des Koeffizienten der inneren Reibung vorgenommen worden. So von Haro (1873 und 1876), ferner von C. A. Ewald (1877). Die ersten genaueren Bestimmungen über die Viskosität des defibrinierten Blutes rühren von B. Lewy (1896) her. Der einfache, von ihm benutzte Apparat ist S. 454 seiner Abhandlung beschrieben worden (s. auch Duncan und Gamgee 1870, Nicolls 1896).

Hürthle (1900 s. a. 1897) hat die Viskosität des lebenden Blutes mit einem besonderen Apparat bestimmt. Die Methode besteht wie die vorhergenannten darin, die Größen der Poiseuilleschen Gleichung zu bestimmen, d. h. man läßt eine nach dem Versuch gemessene Menge Blut während einer bestimmten Zeit unter einer bestimmten Druckdifferenz durch eine Kapillare hindurchfließen. Hürthle setzt hierzu Kanülen in die zwei Karotiden. Die eine wird mit der Kapillare, die andere mit einem mäßig gedämpften Quecksilbermanometer verbunden. Damit das Blut während des Versuches nicht gerinnt, darf er nur höchstens eine halbe Minute dauern. Die Zeit, während die zu messende Blutmenge durch die Kapillare hindurchströmt, wird registriert. Dies geschieht dadurch, daß das Blut frei aus der Kapillare an dreieckig geformten Glasplatten in Sammelgefäßen hinabfließen kann. Zwei solche Glasplatten befinden sich an einer wippenartigen Vorrichtung. Die beiden Glasplatten ragen mit ihren Spitzen in die Öffnungen von zwei Sammelgefäßen hinein. Wird die eine Glasplatte durch die eine Wippenstellung vor das Lumen der Kapillare gebracht, so fließt das Blut aus der Kapillare an sie hin und an ihr entlang in das eine Meßgefäß. Bei der anderen Wippenstellung trifft der Blutstrom aus der Kapillare auf die andere Glasplatte und das Blut fließt in das andere kleine Meßgefäß. Die Bewegungen der Wippe werden graphisch registriert. Die während der so registrierten Zeit ausgeflossenen Blutmengen werden in den Meßgläschen gewogen, ihr Volumen durch Feststellung des spezifischen Gewichtes bestimmt. Zur Registrierung der Ausflußzeiten und des Blutdrucks werden zwei verschiedene Kymographien benutzt. Die Kapillare wird durch einen Wassermantel auf bestimmte Temperatur gehalten. Hürthle zeigt in einer besonderen Versuchsreihe, daß mit seinem Apparat dieselben Werte für die Viskosität des destillierten Wassers erhalten werden, wie sie von Poiseuille und Jacobsen gefunden worden sind. Daß bei einer plötzlichen Verengerung der Strombahn, die hier bei dem Übergang der Kanüle in die Kapillare stattfindet, der Druck einen wesentlichen Abfall zeigen kann, daß aber dieser Fehler bei der Wahl bestimmter Röhrensysteme vermieden werden kann, demonstriert Hürthle in einer im Anhang zu dieser Abhandlung veröffentlichten Mitteilung. Abbildungen des Hürthleschen Apparates sind auf Tafel 8 und 9 der Abhandlung enthalten. Bestimmungen mit diesem Apparat sind besonders von Burton-Opitz (1902) vorgenommen worden.

Hürthle hat auch konstatiert, daß bei rhythmischer Strömung dieselben Werte erhalten werden, wenn man den Mitteldruck in Rechnung zieht; ferner, daß während der kurzen Dauer seiner Versuche eine Gerinnung nicht eintritt.

Hirsch und Beck (1901) haben mit einem, dem Ostwaldschen Viskosimeter nachgebildeten Apparat den Reibungskoeffizienten bestimmt.

Ein einfaches, für diesen Zweck bestimmtes Instrument ist von Determann (1907) angegeben worden. Ein Kapillarröhrchen geht zu beiden Seiten

in Meßgefäßchen von gleichem Inhalt über. Das eine Meßgefäß wird voll Blut gesaugt und die Durchflußzeit durch das Kapillarröhrchen bei senkrechter Stellung des Apparates gemessen. Das wie eine Sanduhr gestaltete Instrument wird in einen Wassermantel eingeschlossen, dessen Temperatur abgelesen werden kann.

Der Apparat, den Nicolls angewandt hat, ist in Schäfers Textbook II, S. 66 angegeben. Duncan und Gamgee haben bereits 1870 die Viskosität des nicht geronnenen Blutes festgestellt. s. S. 117.

du Bois-Reymond, Brodie und Müller (1907) haben die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes für die Blutströmung im Körper dadurch zu erweisen versucht, daß sie überlebende Organe, Lungen oder hintere Extremitäten von Katzen, bei konstantem Druck und konstanter Temperatur mit defibriniertem Katzenblut durchströmten. Sie veränderten die Viskosität dieses Blutes durch Zusatz von Blutkörperchenbrei, Salzlösungen und Serum. Die Veränderungen des Strömungswiderstandes der überlebenden Organe gingen parallel mit der Veränderung der Reibungskonstante, die sie mit dem Hirsch-Beckschen Apparat bestimmten.

Heubner (1906) macht darauf aufmerksam, daß die Viskosimetrie keine Schlüsse auf den Gesamtwiderstand erlaubt, den das Blut in der Zirkulation erfährt, da dieser einer aus innerer-, (Visk.) äußerer Reibung (nicht zu vernachlässigen!) und Blutkörperchendeformierung bestehenden Größe entspricht. Diese Frage unterliegt noch der Kontroverse (vgl. Beck und Hirsch (1905).

Mit der Berechnung des „Widerstandes" sucht man im allgemeinen Aufschluß über die Weite der Gefäße, insbesondere der kleinen Arterien und Venen und der Kapillaren zu erhalten. Eine einheitliche Definition des Widerstandes ist noch nicht vorhanden. Jedenfalls müssen zur Feststellung dieser Größe zu gleicher Zeit der Druckabfall und die Strömungsgeschwindigkeit für den betreffenden Gefäßabschnitt ermittelt werden. Die Viskositätskonstante kann für gewöhnlich als konstant betrachtet werden. Im übrigen verweise ich kurz auf die Abhandlung von Hürthle (1904), ohne meine Ansicht mit den Betrachtungen Hürthles identifizieren zu wollen.

du Bois-Reymond, Brodie und Müller F. 1907. Der Einfluß der Viskosität auf die Blutströmung. (7. internat. Physiologenkongress Heidelberg) Zentralbl. f. Physiol. Bd. 21, S. 479.

du Bois-Reymond, Brodie und Müller 1907. Der Einfluß der Viskosität auf die Blutströmung und das Poiseuillesche Gesetz. Arch. f. Anat. u. Physiol. Suppl. S. 37.

Burton-Opitz 1902. A comparative study of the viscosity of the blood. (Physiol. Labor. Harvard med. school) Amer. journ. of physiol. 7, S. 243.

Determann 1907. Ein einfaches, stets gebrauchsfertiges Blutviskosimeter. Verhandlg. d. Kongr. f. inn. Med. 24, S. 533.

Duncan and Gamgee 1870. Notes on some experiments on the rate of flow of blood and some other liquids through tubes of narrow diameter. Journ. of anatomy and physiol. V, S. 150.

Ewald 1877. Über die Transpiration des Blutes. Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 208.

Haro 1876. Sur l'écoulement du sang par des tubes de petit calibre. C. R. d. l. Soc. Biol. 9. Oktober.

Heubner, Über Messung und Bedeutung der Blutviskosität, Verh. Ges. deutsch Naturf. Ärzte Vers. 77. Tl. 2. Hälfte 2 S. 25, s. a. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. 53, S. 280, ferner 54. S. 54.

Hirsch und Beck 1905. Studien zur Lehre von der Viskosität (inneren Reibung) des

lebenden menschlichen Blutes. Deutsch. Arch. f. klin. Med. LXX, S. 503, S. a. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. 54, S. 149, 1901.
Hürthle 1897. Über den Widerstand der Blutbahn. Deutsch. med. Wochenschr. Sept.-Abdr.
Hürthle 1900. Über eine Methode zur Bestimmung der Viskosität des lebenden Blutes und ihre Ergebnisse. Pflügers Arch. LXXXII, S. 415.
Hürthle 1904. Über den gegenwärtigen Stand und die Probleme der Lehre von der Blutbewegung. Deutsche med. Wochenschr. Nr. 39.
Lewy 1896. Die Reibung des Blutes. Pflügers Arch. LXV, S. 447.
Nicolls 1896. Hämodynamics. Journ. of physiol. XX, S. 407.
Poiseuille, Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes des très-petits diamètres. Ann. d. Chimie et de Physique 3 sc. T. VII, 1843.

Kapitel 21.

Bestimmung der Herzarbeit.

Der Anteil der Herzarbeit, der zur Schaffung potentieller Energie führt, kann bei dem ausgeschnittenen Kaltblüterherzen durch den Herzindikator (Frank 1898) unmittelbar bestimmt werden. Gewöhnlich wird als Ausdruck für die Herzarbeit das Produkt $P \cdot V$ genommen, d. h. das Produkt aus dem von dem Herzen ausgeworfenen Volumen und dem mittleren Druck, gegen den dieses Volumen gefördert worden ist. Daß diese Formel nicht richtig ist, sondern nur für den Fall gilt, daß während der Pumparbeit der Druck unveränderlich bleibt, ist in der zitierten Arbeit gezeigt worden. Der allgemeine Ausdruck für diesen Teil der Herzarbeit lautet

$$\int_{V_0}^{V_1} p \cdot dV$$

Er kann dadurch bestimmt werden, daß man die Veränderungen des Sekundenvolumens in einer Kurve bestimmt und ebenso die gleichzeitigen Druckveränderungen; und daß man nun für möglichst kleine Zeitintervalle das Produkt $P\,dV$ berechnet und nach den Vorschriften der Formel integriert. Oder man registriert wie bei dem Indikator den Druck unmittelbar als Funktion des Volumens und schreibt so die Herzarbeit direkt auf. Wie weit die richtige Berechnung von der gewöhnlich geübten abweicht, läßt sich vorläufig noch nicht ermessen.

Der Herzindikator, der zur direkten Aufzeichnung der Herzarbeit dient, ist folgendermaßen konstruiert: Das ausgeschnittene Froschherz befindet sich auf einer Kanüle mit der Aorta aufgebunden, in einer mit Flüssigkeit (Ringerlösung oder Blut) gefüllten Kapsel. Sie ist verbunden mit einem Volumschreiber, d. h. einer Mareyschen Kapsel oder einem Pistonrekorder. Die Kanüle steht mit einem Röhrensystem in Verbindung, das ähnlich wie bei dem Williamsschen Apparat eine Zirkulation der Flüssigkeit durch das Herz, aber auch eine Anfüllung des Herzens unter verschiedenem Druck oder auch ein Arbeiten des Herzens gegen verschiedenen Druck ermöglicht. Der Druck in dem Röhrensystem wird durch ein Membranmanometer, das nahe dem Ventrikel angesetzt ist, gemessen. Auf der Achse des Volumschreibers sitzt ein Spiegelchen, ebenso auf der Achse des Manometers.

Ein Lichtstrahl, der von einem leuchtenden Punkt ausgeht, fällt auf den Spiegel des Volumschreibers, dessen Achse horizontal gelagert ist. Er wird von ihm zurückgeworfen und führt nun eine senkrecht auf und ab gehende Bewegung aus, entsprechend den Drehungen des Spiegels. Ehe seine Bewegungen auf der photographischen Platte festgehalten werden, fällt er auf den Spiegel des Druckschreibers, dessen Achse senkrecht steht. Er bekommt dann eine horizontale Bewegung entsprechend den Druckveränderungen. Nach dem Verlassen dieses Spiegels umkreist er also eine Fläche, deren Größe proportional der Herzarbeit ist. Die zeitlichen Veränderungen von Druck und Volumen lassen sich in die Kurve dadurch aufnehmen, daß man den Lichtstrahl in geeigneten Zeitintervallen unterbricht. Man erhält so eine Kurve, die sowohl unmittelbar die Herzarbeit als auch die zeitlichen Veränderungen von Druck und Volumen wiedergibt. Vergl. Kap. 23.

Wie man die beiden Faktoren der Herzarbeit, den mittleren Blutdruck und das Sekundenvolumen bestimmt, wird in dem betreffenden Kapitel auseinander gesetzt werden. Insbesondere mache ich hier auf die Methoden zur Bestimmung des Sekundenvolumens oder der Volumveränderung der Herzhöhlen (Teil II) aufmerksam. Da man auch bei dem Menschen zu einer Schätzung des Blutdrucks und des Sekundenvolumens gelangen kann, so kann man sich eine annähernde Vorstellung über die Größe der Herzarbeit des Menschen bilden. Von neueren Arbeiten hierüber erwähne ich die Arbeiten von Strubell (1907), Rothberger (1907), Müller (1908), Plesch (1909).

Der Ausdruck Herzarbeit ist insofern nicht ganz richtig, als man bei diesen Berechnungen den Wert des Effektes zu bestimmen beabsichtigt. Der Effekt, die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit, ist maßgebend für die Leistungen des Herzens im Kreislauf. (S. Frank 1898.)

Winterberg (1903, S. 495ff.) gibt eine eingehende ablehnende Kritik des Versuchs von v. Basch, aus dem Verhältnis des arteriellen Drucks und des venösen Drucks auf die Herzarbeit zu schließen.

Frank 1898. Die Arbeit des Herzens und ihre Bestimmung durch den Herzindikator. Sitzungsber. d. Ges. f. Morphol. u. Physiol. München.

Frank 1899. Die Grundform des arteriellen Pulses. Zschr. f. Biol. XXXVII S. 483

Müller, A. 1908. Klinische Methode zur Bestimmung von Schlagvolumen und Herzarbeit (Ges. inn. Med. u. Kinderheilk. Wien). Zentralblatt für innere Med. Jahrg. 29, p. 286.

Plesch 1909. Hämodynamische Studien. (Physiol. Inst. v. Zuntz u. II. med. Klinik Berlin.) Z. f. exper. Pathol. u. Therapie VI, p. 380.

Rothberger 1907. Methode zur direkten Bestimmung der Herzarbeit im Tierexperiment. (7. Intern. Physiol. Kongr. Heidelberg.) Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 33. p. 1568.

Strubell 1907. Über Methoden zur Bestimmung der Herzarbeit. Wien. klin. Wochenschr. Jahrg. 20, p. 903.

Winterberg 1903. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des Kamfers auf das Herz und die Gefäße von Säugetieren. Pflügers Arch. 94, p. 455.

Kapitel 22.

Die elektrische Transmission. Signalisierung der hämodynamischen Erscheinungen.

Solange man nicht über hinreichende Methoden zur Registrierung der einzelnen Phasen der Herztätigkeit, z. B. auch für die Registrierung der Herztöne, verfügte, wurde in verschiedenen Untersuchungen eine Signalisierung der mit den Sinnesorganen beobachteten Erscheinung, sei es des Fühlens des Pulses oder des Herzschlages oder des Hörens der Herztöne oder der Beobachtung der Herztätigkeit mit dem Auge, durch elektromagnetische Signale vorgenommen. Es erscheint nicht notwendig, eine Beschreibung der einfachen, diesem Zweck dienenden Methoden hier zu geben. In neuester Zeit ist von Njegotin (1906—08) versucht worden, einem derartigen Verfahren, das er als graphisch-akustische Methodik bezeichnet, eine größere Bedeutung zuzuschreiben. Wenn man vielleicht auch jetzt noch hier und da in die Lage kommen wird, solche einfachen Mittel der Registrierung anzuwenden, so wird man ihnen nicht den Vorzug vor den eigentlichen hämodynamischen Registriermethoden geben.

Die Unterbrechung eines Stroms durch die Bewegungen der Kreislaufteile und die Markierung der Unterbrechungen durch einen Markiermagneten führt natürlich nicht zur stetigen Aufzeichnung des Bewegungsablaufs, sondern nur einiger bestimmter Stellungen des sich bewegenden Teils und des damit verbundenen Unterbrechers. Eine derartige Methode ist übrigens schon von Upham (1859 p. 9 s. Kap. 15 Einleitung) angewendet worden.

Im übrigen bietet die elektrische Transmission manche Vorteile vor der Lufttransmission, da sie eine fast vollständige Unabhängigkeit des mechanischen Zusammenhangs zwischen dem Registrierapparat und der zu registrierenden Bewegung oder Druckveränderung gewährleistet. Die Umsetzung von mechanischen Veränderungen in Veränderungen elektrischer Größen, die mit passenden galvanometrischen Vorrichtungen usw. bestimmt werden können, ist auf verschiedene Weise denkbar. So kann man eine Kapazitätsänderung eines Kondensators durch Bewegung seiner Platten hervorrufen (s. Cremer 1907), oder man kann durch Verschiebung eines Leiterkreises in einem magnetischen Kraftfeld Induktionswirkungen hervorrufen, oder man kann in verschiedener Weise den Widerstand in einen Stromkreis verändern. Die letztere Methode hat bis jetzt die meiste Anwendung gefunden. Sie wird vor allem in dem Mikrophon benutzt und dient zur Registrierung des Phänomens der Herztöne (s. das betr. Kap. Teil II). Man kann aber auch größere Druckveränderungen auf diese Weise registrieren. So teilt de Holowinski (1899) Ideen mit, nach denen eine mikrophonische Untersuchung der Puls- und Herzwellen möglich wäre. Auf andere Weise verwandelt Grünbaum (1898) die mechanische Bewegung in elektrische Veränderungen. Er registriert den Blutdruck dadurch, daß er ihn auf eine mit Zinksulfat gefüllte elastische Kapsel wirken läßt. Hierdurch wird der Widerstand und die Stromstärken in einen Stromkreis verändert; die Veränderungen der Stromstärke werden durch Wheatstonesche Brücke und Kapillarelektrometer bestimmt und registriert.

Vorläufig haben diese Methoden, abgesehen von der mikrophonischen Registrierung der Herztöne, über die in einem besonderen Kapitel berichtet wird, keine Bedeutung erlangt. Jedenfalls erfordern sie wie die anderen Registrierungsmethoden eine eingehende Kritik. Die Anwendung der Elektrizität an sich gewährleistet noch keine korrekte Darstellung.

Cremer 1907. Über die Registrierung mechanischer Vorgänge auf elektrischem Wege. Münch. med. Wochenschrift No. 33.

Grünbaum 1898. On a new method of recording alterations of pressure (Physiol. Soc.). Journ. of physiol. XXII, S. 49.

v. Holowinski 1906. Mikrophonische Untersuchung der Puls- und Herzwellen. Zeitschr. f. klin. Medizin XXXVII, S. 199.

Njegotin 1906. Zur Frage der graphisch-akustischen Signalisierung der Herztätigkeit. Pflügers Archiv, Bd. 112, S. 623.

Njegotin 1907. Die graphische Registrierung der bei dem graphisch-akustischen Signalisierungsverfahren hörbaren Glockenschläge. Pflügers Archiv, Bd. 119, S. 152.

Njegotin 1908. Über die Bedeutung der Registrierung der Glockensignale bei Anwendung der graphisch-akustischen Methode. Zentralbl. f. Physiol., Bd. 22, S. 265.

Anhang.

Zusammenstellung der in Teil I vorkommenden mathematischen Bezeichnungen.

L = Länge, Q = Querschnitt, V = Volumen,
P = Kraft im gewöhnlichen Sinn, p = hydrostatischer Druck,
E' = Volum-Elastizitätskoeffizient (Definition S. 6),
η = linearer Elastizitätskoeffizient der Kapsel (Defin. S. 7),
E = Elastizitätskoeffizient der Feder (Defin. S. 38),
Ψ, ψ = Elastizitätskoeffizient eines Schlauchs (Defin. S. 9.),
χ = Elastizitätskoeffizient der Luft (Defin. S. 10),
S = Spannung der Membran (Defin. S. 13),
M' = wirksame Masse der Flüssigkeit (Defin. S. 6),
m = reduzierte Masse eines Hebels oder Spiegels (Defin. Bd. I, 4 „Hebel“),
σ = spezifisches Gewicht (Dichte),
μ = spezifische Masse (Defin. S. 25.),
Λ = spezifische Dehnung der Membran (Defin. S. 15.),
δ = Verhältnis der Durchmesser von Platte und Membran (Defin. S. 14),
γ = Druckempfindlichkeit (Defin. S. 7), γ_e = bezogen auf den Endpunkt, γ_r = bezogen auf den Registrierpunkt,
β = Verrückungsempfindlichkeit (Defin. Bd. I, 4 „Prinzipien“ und S. 86),
f = Ausschlag des Kolbens oder der Membran (Defin. S. 14),
v = Vergrößerung des Ausschlags durch Hebel oder Spiegel etc.,
U = Volumübersetzung (Defin. S. 7),
$\Phi = U^2E'/\eta$, $\varphi = \Phi$ für die einfache Membranübersetzung (Defin. S. 8.),
K' = Dämpfungskonstante (Defin. S. 6),
T = Schwingungsdauer, N = Schwingungszahl, G = Güte (Defin. Bd. I, 4 „Prinzipien“).

II. Spezielle hämodynamische Methodik.

(Mit 64 Figuren.)

Kapitel 23.

Das isolierte Kaltblüterherz.

Die Methoden, die zur Beobachtung der Bewegungen des ausgeschnittenen Kaltblüterherzens (vorzugsweise des Froschherzens, auch des Schildkröten- oder Krötenherzens)[1]) benutzt werden, lassen sich in zwei große Gruppen teilen. Bei den einen soll das Herz in ähnlicher Weise wie im Tierkörper mit Nährflüssigkeit durchspült werden, eventuell unter Erzeugung eines künstlichen Kreislaufs, während bei den anderen die Bewegungen ohne Speisung des Herzens aufgeschrieben werden. Die letzteren, die eine ausgedehnte Anwendung in dem sogenannten Suspensionsverfahren erlangt haben, zeichnen sich durch äußerst bequeme und einfache Technik aus. Sie müssen selbstverständlich bei den kleinen Kaltblüterherzen dann angewendet werden, wenn einzelne Muskelabschnitte untersucht werden sollen. Die anderen verbürgen eine längere Lebensdauer des Präparates, gestatten außerdem die Leistungen des Herzens als Pumpvorrichtung besser quantitativ zu bestimmen, machen aber eine etwas mühsamere Präparation nötig. Die letzteren Methoden werden wohl unumgänglich sein, wenn man die Einwirkung von Stoffen auf die Herztätigkeit beobachten will. Unter allen Umständen wird man zu bedenken haben, daß eingreifende mechanische Einwirkungen zu beträchtlichen Schädigungen der Leistungen des Herzens und auch Störungen der Erregungsphänomene führen können. (S. Die Untersuchungen von Gaskell [1882] über die Entstehung eines Blocks durch mechanische Schädigung der Herzmuskelfasern, ferner die Abhandlung von Giesen [1908], in der nachgewiesen wurde, daß das Kaltblüterherz nach dem Ausschneiden meist ein unter Umständen recht lange dauerndes Shockstadium durchmacht.) Weitere systematische Untersuchungen über den Einfluß der Methodik auf die Erhaltung der Lebensfunktionen des Herzens existieren nicht. Gelegentlich ist von mir (1895) auf die Schädigungen aufmerksam gemacht worden, die das Herz erfährt, wenn es längere Zeit gegen zu hohen Druck arbeitet, siehe hierüber auch die Abhandlung von Jacobj (1900). Lambert (1906) gibt hierzu an: Je mehr Arbeit das ausgeschnittene Froschherz leistet, um so kürzer ist seine Lebensdauer. Die gesamte Arbeit ist am größten bei Arbeit unter mäßigem Druck. Schädigungen des Herzens durch Arbeit unter hohem Druck können nicht mehr ausgeglichen werden.

Die Durchspülungsmethoden sind hauptsächlich von Ludwig im Anschluß an seine Bestrebungen, die überlebenden Organe der physiologischen Untersuchung zugänglich zu machen, ausgebildet worden.

---

1) Nach einer persönlichen Mitteilung des Herrn Kollegen v. Grützner eignet sich das Ringelnatterherz sehr gut zur Beobachtung.

A. Das nicht durchspülte Herz.

a) Fühlhebelmethode.

Diese Methode benutzten Marey (1875), Lauder Brunton (1876), ferner Heidenhain (1882). Heidenhain beschreibt die Methode folgendermaßen:

S. 384. „Als Versuchsobjekt diente der Frosch. Das Herz wurde im Zusammenhange mit den beiden nv. vagis ausgeschnitten und horizontal auf eine Glasplatte gelagert, um die Ventrikelpulse mittels eines äußerst leichten Fühlhebels auf die Trommel des Baltzarschen Kymographions zu zeichnen. Der von mir benutzte Hebel ist dem Ranvierschen sehr ähnlich, aus einem

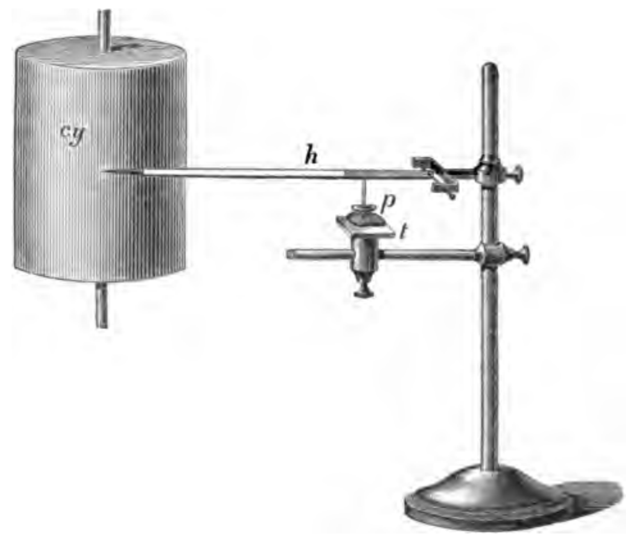


Fig. 1.
Fühlhebel. (Aus: Langendorff, Graphik, S. 166.)

Strohhalme gefertigt, nahezu äquilibriert, und stützt sich auf den Ventrikel mittels eines Knochenplättchens, welches sich auf der Oberfläche des Herzens vermöge seiner Hygroskopizität leicht ansaugt, so daß es auf derselben hinreichend haftet.“ (s. Fig. 1.)

Die Methode dürfte noch jetzt am besten in derselben Form angewendet werden, wie dies Heidenhain getan hat. Ihr wesentlicher Vorteil besteht darin, daß sie nur eine äußerst geringfügige Präparation des Herzens erfordert. Sie eignet sich deshalb besonders zu einfachen Demonstrationen in der Vorlesung und in Kursen. Ihr Hauptfehler liegt darin, daß das Herz sich sehr leicht auf seiner Unterlage verschiebt. Deshalb ist es auch vorzuziehen, statt der von Heidenhain hierzu verwendeten Glasplatte eine ausgehöhlte Hartgummiplatte oder nach Marey (1875) einen der Herzform entsprechenden Wachsguß zu benutzen. Durch die Platte hindurch können Platindrähte geführt werden, und so in bequemer Weise Induktionsschläge durch das Herz geschickt werden. Bei einer Äquilibrierung des Hebels, wie sie Heidenhain vorgenommen hat, wird

man darauf zu achten haben, daß das äquilibrierende Gewicht nahe an der Achse angebracht ist, damit das Trägheitsmoment nicht unnötig vermehrt wird und nicht Abschleuderungen des Hebels erfolgen. Wenn auch hier noch keine systematischen Untersuchungen vorliegen, so kann man doch wohl von vornherein sagen, daß die Formveränderung des Herzens, die von dem Fühlhebel (nach einer Dimension) aufgeschrieben wird, mit geringer Kraft erfolgt, so daß das Herz nur geringe Widerstände des Fühlhebels zu überwinden vermag. Man wird deshalb möglichst die Reibung der Hebelbewegung zu vermindern suchen, aber immer wird die Methode noch sehr subtil sein. Die aus den Beobachtungen gezogenen Schlüsse über die Stärke und Größe der Herzaktion werden, bis eine nähere Analyse dieser Methode durchgeführt worden ist, mit großer Zurückhaltung aufzunehmen sein.

Zur Demonstration der Vorhof- und Ventrikelbewegungen hat Czermak (1869) drehbare Spiegel verwendet. Brodie (1902) konstruierte

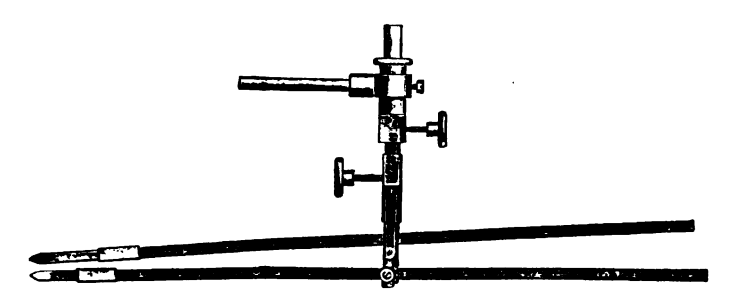


Fig. 2.
Hebel für doppelte Suspension (Katalog des Mechanikers Rinck, Marburg).

einen einfachen Herzhebel für Praktikumszwecke. Durham (1903 und 1905) ergänzte die Brodiesche Einrichtung zur Registrierung der drei Herzabteilungen, Sinus, Vorhof und Ventrikel, des Froschherzens.

b) Das Suspensionsverfahren.

Ähnlich wie früher Ludwig (1849) die Bewegungen des Warmblüterherzens verzeichnet hat, ist die Tätigkeit des ausgeschnittenen Kaltblüterherzens von Gaskell (1882) dadurch aufgeschrieben worden, daß ein Hebel durch einen Faden in Verbindung mit der Herzwand gesetzt wurde. Dieses als Suspensionsmethode bezeichnete Verfahren ist hauptsächlich von Engelmann zu seinen Untersuchungen über die Erregung des Herzens benutzt worden. Engelmann (1892, S. 357) s. auch 1900) beschreibt die Methode folgendermaßen: (s. Fig. 2.)

„Ein sehr einfaches, vor den zur graphischen Untersuchung und Demonstration der Herzbewegung gebräuchlichen Methoden manche Vorteile gewährendes Verfahren besteht darin, ein spitzes Häkchen durch die Herzwand zu stechen und dieses mittels eines Fadens an einem leichten, die Bewegungen vergrößernden Schreibhebel ziehen zu lassen. Da die Einführung des Häkchens ohne Blutverlust ausführbar ist, kann das Verfahren bei blutdurchströmten, im Körper befindlichen Herzen angewandt werden. Nicht minder Nutzen gewährt es aber, wie schon die nach ähnlichen Ver-

fahren angestellten Versuche von W. H. Gaskell (Philos. Transact. 1882, p. 993) lehren, am ausgeschnittenen Herzen, das dann in einer Klemme fixiert in feuchtem Raume aufgehängt werden muß."

Mit dieser Methode können die Bewegungen der verschiedenen Herzabteilungen, des Sinus, des Vorhofs, des Ventrikels und des Bulbus, gleichzeitig registriert werden, ja die einzelnen Teile des Ventrikels wie des Vorhofs, was bei dem Kaltblüterherzen durch kein anderes Verfahren erreicht werden kann (Engelmann 1896)[1]. Bottazzi (1900) wendet die Suspension der mit Blut gefüllten, gegen den Ventrikel abgeschnürten Vorhöfe des Schildkrötenherzens an.

B. Das durchspülte Herz.

a) Prinzipien.

Von einer Reihe von Untersuchern ist das Kaltblüterherz in einen Kreislauf eingeschlossen worden, der möglichst dem natürlichen nachgeahmt war, bei dem vor allem die verschiedenen Herzabteilungen des ganzen Herzens in ihrer natürlichen Funktion belassen wurden. Bei anderen Untersuchungen sind nur einzelne Herzabschnitte, vorzugsweise der Ventrikel, in einen künstlichen Kreislauf eingefügt worden. Einige der letzteren Methoden, die natürlich bequemer anzuwenden sind, als die ersten, sind als Standardmethoden hauptsächlich zu pharmakologischen Untersuchungen angewandt worden. Es ist viel über den Wert dieser Methoden diskutiert worden, ohne daß man immer den objektiven Standpunkt hier festgehalten hätte. Man kann wohl von vornherein sagen, daß jede dieser Methoden ihre Vorzüge hat. Die Vorzüge der letzteren liegen in der Bequemlichkeit, die durch die rasche Präparation des Herzens bedingt ist. Bei den ersteren wird das Herz möglichst unverändert gelassen. Infolgedessen bleibt seine Funktion länger erhalten, da es mehr unter natürlichen Verhältnissen arbeitet. Wenn auch endgültige Untersuchungen über diesen Punkt noch ausstehen, so zeigen doch die Arbeiten von mir, Jacobj u. a., daß das Herz länger am Leben bleibt und größere Arbeit leistet, wenn Ventrikel und Vorhof in der natürlichen Verbindung gelassen werden. Man wird hierbei zu bedenken haben, daß, wie oben S. 123 bemerkt wurde, nach den Untersuchungen von Gaskell und Giesen eine Unterbindung von Teilen des Herzmuskels auch zur Schädigung der Überleitung der gedrückten und diesen benachbarten Stellen führt. (s. a. Cyon 1901.)

Die Untersuchung der Bewegungsvorgänge, die sich an solchen Herzen abspielen, hat sich, wie in der Abhandlung: „Der Herzindikator" (1898) ausgeführt wird, auf die Feststellung der Druck- und Volumveränderung zu erstrecken. Aus beiden resultiert die geleistete Arbeit. Beide Größen entsprechen der Länge und der Spannung, deren Veränderung bei den Untersuchungen über die Leistungen des quergestreiften Muskels festgestellt werden. Von Fick ist für die Untersuchung der Dynamik des

1) Wir verbinden den Faden des Hebels durch eine kleine aus einem Stahldraht von 0.5 mm Dicke angefertigte serres fines von nur ca 0.05 g Masse mit dem Herzen. Die Klemme ist im ganzen etwa 1.5 cm lang.

quergestreiften Muskels eine systematische Methodik ausgebildet worden. Er hat gezeigt, daß die mechanischen Zustände, in die der Muskel gerät, wechseln nach der Beanspruchungsart. Um den Skelettmuskel unter möglichst verschiedenartigen Bedingungen arbeiten zu lassen, hat Fick besondere Methoden ersonnen. Er läßt ihn einmal ohne Veränderung seiner Länge — isometrisch — das anderemal ohne Veränderung seiner Spannung — isotonisch — tätig sein. Die mechanischen Zustände, in die der tätige Muskel gerät, sind in beiden Fällen nicht dieselben. Der ganze Kurvenverlauf ist ein verschiedener. Von mir (1901) ist es wahrscheinlich gemacht worden, daß bei diesen Zuckungsarten die extremen Zustandsänderungen wirklich erreicht werden, daß mathematisch ausgedrückt, das ganze Gebiet der Zustandsänderungen von denjenigen, die bei der isometrischen und isotonischen Zuckungsform erzielt werden, umgrenzt wird. Ferner, daß die Verhältnisse bei dem Herzmuskel genau so liegen wie bei dem Skelettmuskel, wenn man als die Größen, welche die mechanischen Zustände bestimmen, Volumen und Druck statt der Länge und der Kraft bei dem Skelettmuskel nimmt. Die Tätigkeit des Herzens, bei der sich das Volumen nicht verändert, ist als isometrische zu bezeichnen, diejenige, bei der sich der Druck nicht verändert, als isotonische. Selbstverständlich handelt es sich dabei nur um eine Übernahme der Bezeichnungen von den Verhältnissen beim Skelettmuskel, wie dies von mir (1901) ausführlich auseinandergesetzt worden ist. Das auf diesen Betrachtungen aufgebaute System der Methodik ist nicht gekünstelt, sondern paßt sich den natürlichen Verhältnissen des Herzens im Kreislauf vollkommen an. Die von mir als isometrische oder isotonische Zuckungen bezeichneten Arbeitsweisen sind die Grenzfälle der natürlichen Tätigkeit des Herzens im Kreislauf.

Zur Feststellung der Druckveränderung haben bei dem künstlichen Kreislauf das Quecksilbermanometer und elastische Manometer gedient. Die mechanischen Verhältnisse des Kreislaufs werden natürlich am wenigsten verändert durch Einfügung eines elastischen Manometers. Mit ihm lassen sich die Zustandsänderungen unter den verschiedensten Bedingungen feststellen. Das Quecksilbermanometer läßt sich nur so benutzen, wie es von der Ludwigschen Schule geschehen ist, nämlich, daß man es endständig mit dem Inhalt des Herzens verbindet. Man hat aber dabei zu bedenken, daß das Herz durch den Anschluß des Quecksilbermanometers unter besondere mechanische Verhältnisse gebracht wird. (Frank, 1895, S. 474 und unten.)

Die Volumveränderung des Herzens bezw. die von dem Herzen ausgeworfene Flüssigkeitsmenge kann in verschiedener Weise bestimmt werden. Einmal dadurch, daß man die Flüssigkeit in einen Meßzylinder strömen läßt. Durch geeignete Vorrichtungen kann diese Bestimmungsmethode leicht anwendbar gemacht werden. Mit ihr kann man nur das Stromvolumen bestimmen, das in größeren Zeitintervallen das Herz durchfließt. Wenn man die Veränderungen des Sekundenvolumens in kürzeren Zeiten, etwa während einer Herzrevolution, bestimmen will, muß man zu graphischen Methoden greifen. Man kann hierzu zunächst die Plethysmographie benutzen, indem man das Herz in einen kleinen Plethysmo-

graphen einschließt und die Volumschwankungen beobachtet oder durch einen Pistonrekorder oder eine Mareysche Kapsel aufschreibt. (Blasius 1871, Boehm 1872, Marey 1875, Mosso und Pagliani 1877.) Roy (1878) hat die Volumschwankungen des Herzens dadurch aufgeschrieben, daß er in den Boden der Herzkammer seinen Pistonrekorder einfügte (S. I, Kap. 18). Abbildung einer Modifikation s. Schäfers textbook II, S. 210.

Schäfer (1884) registriert die Volumveränderungen des Herzens durch Photographie der Bewegungen des Meniskus einer Flüssigkeitssäule, die mit dem Inhalt des Herzgefäßes in Verbindung steht. In der zweiten Arbeit wird zur Registrierung ein horizontal liegender Pistonrekorder verwendet. Elliot und Burnett (1904) haben den Schäferschen Apparat etwas modifiziert.

Wenn man das ganze Herz mit den verschiedenen Abteilungen in einen Plethysmographen einschließt, so ist zu bedenken, daß wegen der komplizierten Verhältnisse der Ein- und Ausströmung der Flüssigkeit in die verschiedenen Herzabteilungen das Sekundenvolumen (Stromstärke) erst durch eine eingehende Analyse der aufgezeichneten Kurven festgestellt werden kann. Man kann auch das Sekundenvolumen dadurch bestimmen, daß man die aus dem Herzen ausströmende Flüssigkeit in einen Pistonrekorder oder in eine Mareysche Kapsel einströmen läßt. Durch dieses Verfahren kann man, ebenso wie dies Brodie und ich für die Bestimmung der Venenströmung und des Gallenflusses ausgeführt haben, sozusagen probeweise die Stromgeschwindigkeit bestimmen. Nachdem diese Messung bei dem Herzen in wenigen Schlägen vollendet ist, wird das Instrument wieder außer Verbindung mit dem Kreislauf gesetzt und das Herz arbeitet unter den vorherbestehenden Verhältnissen weiter. Die Verbindung des Kreislaufs mit dem Meßinstrument kann so gestaltet werden, daß an den mechanischen Bedingungen nichts geändert wird. Ferner kann die Veränderung des Volumens des Herzens oder seiner Abschnitte durch Messung der Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Zunächst kann sie aus der Kurve der Volumveränderungen durch Bestimmung des ersten Differentialquotienten berechnet werden (Fick, Frank 1895 S. 32). Man kann aber auch Methoden zur direkten Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit anwenden. Von mir (1895 S. 32) ist darauf aufmerksam gemacht worden, daß wenn man die Flüssigkeit, die aus dem Herzen bzw. dem Ventrikel ausströmt, durch ein starres Rohr ausfließen läßt, die Druckschwankungen, die von einem seitenständig angesetzten Manometer angegeben werden, proportional den Veränderungen der Geschwindigkeit sind, solange das Poiseuillesche Gesetz gilt, und daß unter allen Umständen der Verlauf der Druckkurve mit seinen Maxima und Minima bzw. den charakteristischen Punkten dem Verlauf der Geschwindigkeitskurve analog ist. Das Druckgefälle von dem Punkt, an dem das Manometer angesetzt ist, bis zur Ausflußöffnung wächst und sinkt nämlich mit der Strömungsgeschwindigkeit. Eine weitere Methode zur direkten Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit wird in der Anwendung der Pitotschen Röhrchen zu bestehen haben. Sie ist bis jetzt noch nicht durchgeführt worden.

Die Flüssigkeiten, die man zur Speisung des Herzens anwenden kann, werden in Kap. 25 besprochen.

b) Einzelne Herzabteilungen.

Wenn man einzelne Herzabteilungen von einer Stelle aus durchspülen will, so muß man eine Doppelwegkanüle anwenden, wie dies zuerst von Kronecker geschehen ist. Kronecker hat die nebenan abgebildete Doppelwegkanüle in die Atrioventrikularöffnung des Froschherzens eingebunden.

Luciani (1873 S. 13) beschreibt die hierzu notwendige Präparation folgendermaßen:

Das freigelegte Herz wird nach oben zurückgelegt, die kleine Bindegewebsbrücke, welche in der Mitte der hinteren Ventrikelfläche das viszerale Perikardiumblatt mit dem parietalen verbindet, durchtrennt; durch einen Schnitt in die Cava inferior die Glaskanüle durch den Sinus geführt, so daß die Spitze derselben in die Ventrikelhöhlung reicht; durch eine um die Vorhöfe gelegte Ligatur, welche den Bulbus aorticus mitfaßt, wird die Kanüle fixiert und das Herz nun oberhalb der Ligatur vom Tiere gelöst.

Durch die eine Röhre z der Kanüle soll die Ernährungsflüssigkeit ein-, durch die andere a wieder ausfließen. Da Ventile in dem Apparat nicht angebracht sind und die natürlichen Ventile des Herzens nicht mitwirken, strömt die Flüssigkeit während der Diastole von beiden Röhren zu und während der Systole nach beiden Röhren ab. Eine rein einsinnige Strömung findet selbstverständlich nicht statt. Wenn man aber das Reservoir, aus dem die Flüssigkeit strömt, höher stellt als die Ausflußöffnung, so findet die Strömung in der Hauptsache von der Reservoirseite nach der Ausflußöffnung hin zu statt. Die mechanischen Verhältnisse bei dieser Anordnung lassen sich natürlich nicht klar übersehen. Kronecker benutzt bei seinem Apparat

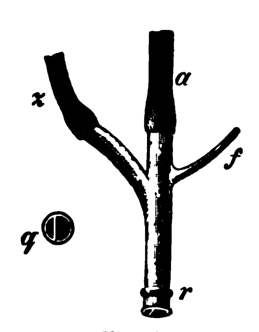


Fig. 3.
Doppelwegkanüle von Kronecker.

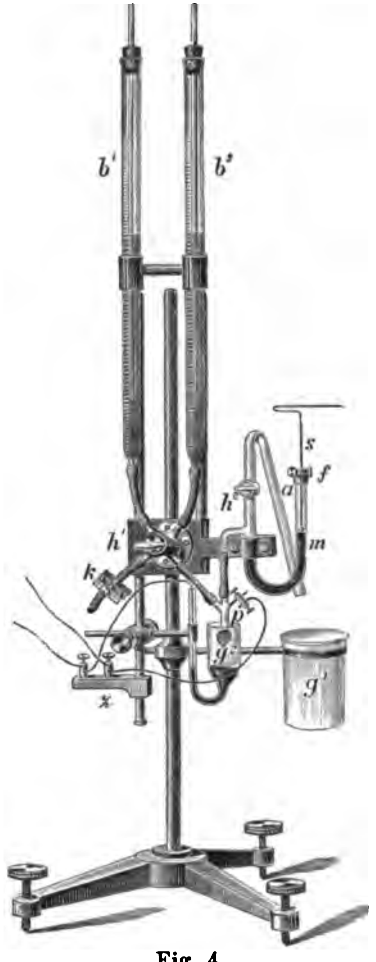


Fig. 4.
Apparat von Kronecker.

zur Aufzeichnung der Tätigkeit des Herzens ein Quecksilbermanometer, das durch ein T-Rohr mit der Doppelwegkanüle in Verbindung gesetzt wird. Die beiden Mündungen der Kanüle werden dabei abgesperrt, so daß der Herzinhalt nur seinen Ausweg nach dem Quecksilbermanometer hin findet. Auf die Besonderheiten dieser Anordnung ist oben schon aufmerksam gemacht worden. Die wesentlichen Eigentümlichkeiten der mechanischen Verhältnisse, unter denen das Herz hier arbeitet, bestehen darin (wenn man von Reibung und Trägheitskräften absieht), daß proportional dem von dem Ventrikel ausgeworfenen Volumen der Druck wächst. Die Arbeitsleistung des Herzens bemißt sich unter denselben Voraussetzungen (Frank, Ztschr. f. Biol. 1910) zu $A = \frac{r^2 \pi \sigma g h^2}{4}$, worin σ das spezifische Gewicht des Quecksilbers, ϱ den Radius des Manometerrohrs, h die Hubhöhe bedeutet. (In der Arbeit von Coats (1869 S. 363) falsch berechnet.) Eine nähere Analyse dieses Verfahrens ist bis jetzt nicht unternommen worden. Sie erscheint aber unbedingt notwendig, wenn man sich nicht den gröbsten Täuschungen aussetzen will; denn beim Herzen spielt ebenso wie beim Skelettmuskel die Anfangsspannung für die Zustandsveränderung während der Tätigkeit eine außerordentliche Rolle. Es ist also durchaus nicht gleichgültig, in welchem Moment das Quecksilbermanometer mit dem Herzen in Verbindung gesetzt wird, ob im Beginn der Systole oder im Beginn der Diastole. Es fällt selbst bei exaktem Arbeiten sehr schwer, die mechanischen Bedingungen in zwei miteinander zu vergleichenden Fällen, also etwa vor und nach der Anwendung eines Giftes usw., gleich zu halten. Weiter ist die Berechnung der Herzarbeit, wie ich oben angedeutet habe, ungenau. Besonders die Trägheitskräfte sind nicht zu unterschätzen. Und zum Schluß arbeitet der Herzmuskel unter unnatürlichen Bedingungen. Es werden bei der ungenauen Kontrolle, die man bei diesem Apparat über die mechanischen Bedingungen hat, sehr leicht Verhältnisse eintreten, unter denen eine starke Schädigung des Herzmuskels zustande kommt, da die Zustände sehr ähnlich denen werden können, die bei isometrischer Zuckung unter hoher Anfangsspannung eintreten. Wenn also auch unter Umständen die Kroneckersche Methode, das Herz auf einer Doppelwegkanüle in der geschilderten Weise aufzubinden, besonders wegen der bequemen Handhabung ihre Vorzüge hat, so wird man die Registrierung durch ein Quecksilbermanometer als verfehlt ansehen müssen. Sie besitzt vor der Registrierung durch elastische Manometer keinerlei Vorzüge.

Die Williamssche Anordnung. Aus den vorhergehenden Bemerkungen geht hervor, daß wenn man eine einsinnige Durchströmung des Herzens erzielen will, Ventile in das Röhrensystem des Kreislaufs eingeschaltet werden müssen. Eine derartige Einrichtung ist von Luciani (1873) in Ludwigs Laboratorium angewandt worden. Das von ihm benutzte Klappenventil war schon von Lovén für andere Zwecke vorgeschlagen. Auch sind derartige Ventile von Blasius (1871) und Böhm (1872) angewandt worden. Williams hat später (1880) einen Apparat konstruiert zur Durchströmung des isolierten Ventrikels, bei dem die Ventile eine wesentliche Rolle spielen. Der Williamssche Apparat ist sehr oft zu pharmakologischen Untersuchungen verwendet worden. Er besteht zunächst aus einem Reservoir

(s. die umstehenden Abbildungen 5a—c), aus dem die Flüssigkeit zu dem einen Ventil strömt und von hier aus zu einer Doppelwegkanüle, auf die die Aortenkanüle aufgesteckt ist. Die zweite Röhre der Doppelwegkanüle führt zu einem weiteren Ventil, dem arteriellen, von dem aus die Flüssigkeit nach dem Ausflußrohr strömt. Die Konstruktion der Ventile ist aus der Abbildung ersichtlich. Über die Öffnung der Glasröhre (s. Fig. 5b) ist ein feines Goldschlägerhäutchen gespannt, das sich bei einem Überdruck in der einen Richtung von der Öffnung abhebt und sie in dem anderen Fall wieder verschließt. Von Brandl (München) sind statt der Membranventile Kugelventile angewandt worden, deren Konstruktion, soviel mir bekannt, nicht veröffentlicht worden ist. (Sie sind von dem Glasbläser Greiner in München zu beziehen.) Über den Widerstand, den die künstlichen Ventile der Flüssigkeitsströmung bieten, ist noch keine Untersuchung angestellt worden. Sie wäre immerhin wertvoll, da man ohne solche künstlichen Ventile bei den Durchspülungsapparaten nicht auskommt. Von Kronecker und seinen Schülern (White 1897) ist gegen die Williamssche Anordnung eingewendet worden, daß mit ihr eine vollständige Durchspülung des Herzens nicht möglich sei, da der Inhalt der Flüssigkeit in der Aortenkanüle einen schädlichen Raum darstelle. Das ist unzweifelhaft richtig. Aber derartige schädliche Räume sind bei der Kroneckerschen Anordnung ebenfalls vorhanden. Bei der Kroneckerschen Vorrichtung wirkt noch störend, daß die Ausströmung der Flüssigkeit nicht in der natürlichen Richtung der arteriellen Seite erfolgt. Die Muskelkontraktion, die im wesentlichen peristaltisch den Inhalt nach der arteriellen Seite treibt, findet unter unnatürlichen Bedingungen statt. Vermutlich wird eine partielle Stauung erfolgen, die zu isometrischen Zustandsänderungen führt. Die Vermutungen, die ich hier aufgestellt habe, werden sich unschwer untersuchen lassen, sie sind aber ebensowenig wie das ganze Kroneckersche Verfahren geprüft worden. Mir scheint die Williamssche Anordnung die natürlichere. Daß der Einfluß des Blutes bei der Williamsschen Anordnung nicht durch die natürliche Öffnung erfolgt, dürfte von wesentlich geringerer Bedeutung sein, da es sich hierbei nicht um eine von den natürlichen Verhältnissen abweichende Beeinflussung des tätigen Herzmuskels, sondern des ruhenden Herzmuskels handelt. Dadurch dürfte im wesentlichen nur der Widerstand beeinflußt werden, den die Flüssigkeit bei dem Einströmen findet. Der schädliche Raum des Williamsschen Apparats kann dadurch, daß man die Doppelwegkanüle unmittelbar bis zur eigentlichen Aortenkanüle vorgehen läßt, stark verringert werden. Bei dem Williamsschen Apparat sind die Aortenkanüle und die übrigen Teile des Apparats aus Glas oder Kautschuk gebildet, während die Doppelwegkanüle aus Neusilber besteht. Mechanisch besser können die Teile gearbeitet werden, wenn sie aus Metall angefertigt werden. Nach den Erfahrungen, die ich bei meinen Apparaten gemacht habe, die vorzugsweise aus Neusilber gebildet sind, dürften die chemischen Einwirkungen durch das Metall auf das Kaltblüterherz nur unwesentlich sein. Allerdings legte ich bei meinen Versuchen bis jetzt keinen besonderen Wert auf das lange Erhalten der Schlagfolge (über einen Tag lang). Auch hier dürften sich diejenigen, welche die Mühe einer diese Beziehungen aufklärenden Untersuchung nicht scheuen, ein wesentliches Verdienst erwerben.

Die Registrierung der dynamischen Verhältnisse des Herzmuskels erfolgt bei dem Williamsschen Apparat entweder so, daß das Herz endständig mit einem Quecksilbermanometer verbunden wird, ähnlich wie dies Cyon, Kronecker, Coats und Luciani ausgeführt haben. Oder so, daß die absolute Kraft bestimmt wird. Es wird hierbei untersucht (s. Williams 1880), wie hoch das Herz die Durchspülungsflüssigkeit in einem senkrecht aufgestellten Rohr zu treiben vermag. Nach Dreser (1888) ist die absolute

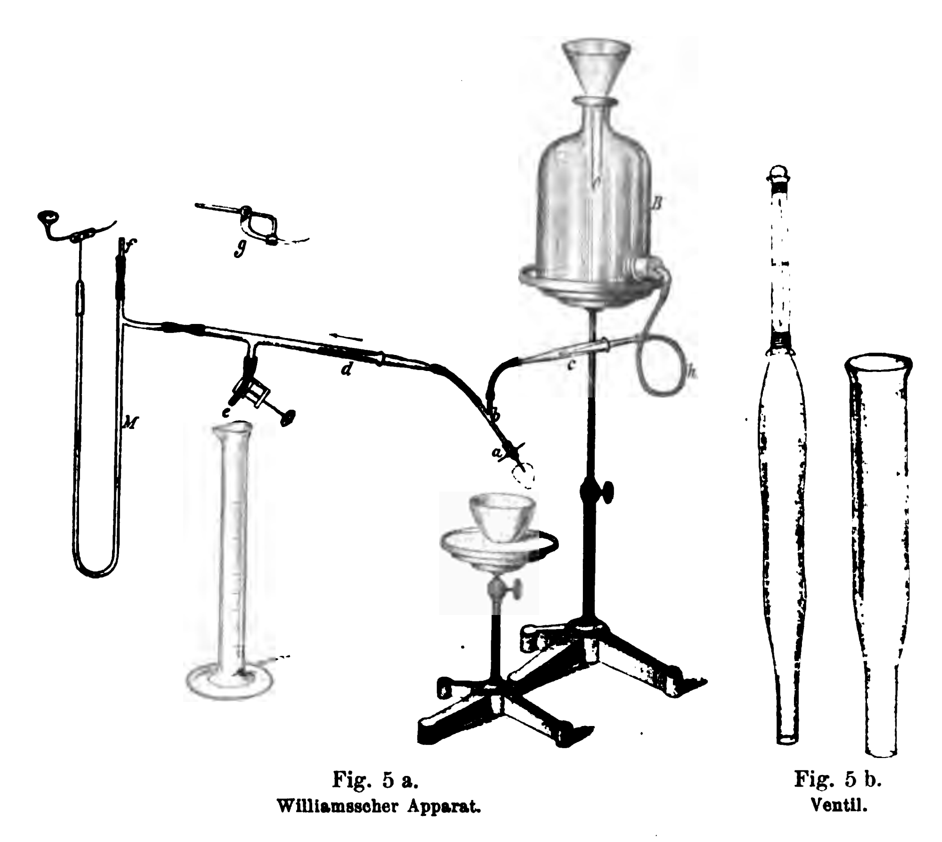


Fig. 5 a.
Williamsscher Apparat.

Fig. 5 b.
Ventil.

Kraft diejenige „Überlastung", die nicht mehr überwunden wird, und zwar bei der „optimalen Belastung", d. h. derjenigen, bei der das Pulsvolumen am größten ist. Die absolute Kraft wird bestimmt durch Erhöhung der Ausflußöffnung des mit dem Aortenventil verbundenen Gummischlauchs.

Daß mit diesem Verfahren einerseits das Herz stark geschädigt wird, andererseits eine eindeutige Bestimmung der absoluten Kraft nicht möglich ist, ist von mir (1895) gezeigt worden (s. auch Durdufi 1889, Hürthle 1892). Die Volumschwankungen des Herzens werden nach dem Williamsschen Verfahren dadurch bestimmt, daß es in einen mit Kochsalzlösung gefüllten Behälter wasserdicht eingeschlossen und der Inhalt dieses Behälters mit einer graduierten Röhre in Verbindung gesetzt wird. (Fig. 5c) Die Vorrichtung stellt also einen Plethysmographen oder Onkographen dar. Die Volum-

schwankungen ließen sich einfach registrieren (Blasius, Boehm, Marey, Mosso, Roy, Frank, s. oben S. 127). Bei der Präparation muß die Aortenkanüle so eingebunden werden, daß sie durch die Spiralklappe der Aorta hindurchgeführt wird. Geschieht dies nicht, so wird ein angesetztes Quecksilbermanometer, ganz abgesehen von seinen sonstigen Fehlern, die Druckschwankungen nicht anzeigen, sondern nur unter allmählicher Verkleinerung der Hubhöhle das Maximum des Drucks. Der Apparat funktioniert nur richtig, wenn die beiden künstlichen Ventile allein wirken. Von mir ist ferner darauf aufmerksam gemacht worden, daß die Dynamik des Herz-

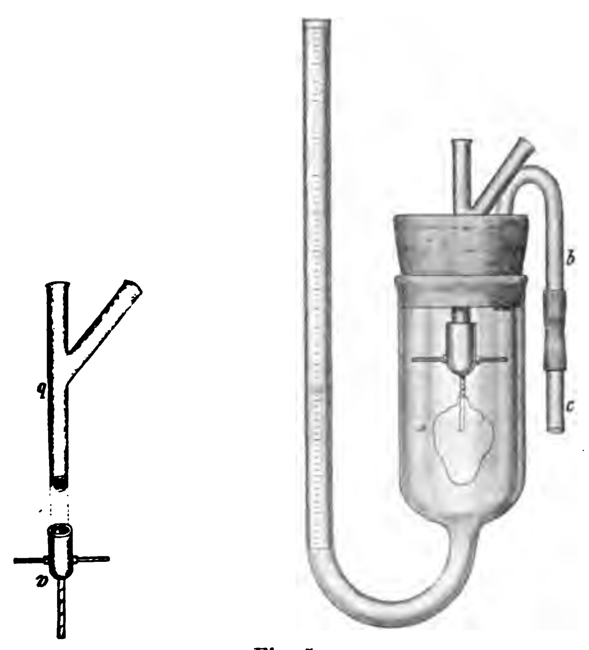


Fig. 5 c.
Herzbehälter und Aortenkanüle nach Williams.

muskels, mit diesem Apparat nur dann richtig untersucht werden kann, wenn das natürliche Ventil zwischen Vorhof und Ventrikel richtig funktioniert. Im anderen Fall fließt die Speiseflüssigkeit aus dieser Öffnung heraus und die vollen Leistungen des Herzens können nicht festgestellt werden. Daß diese Klappe fast stets insuffizient wird, ist in derselben Abhandlung eingehend nachgewiesen worden. Um dieses Leckwerden des Herzens zu verhindern, habe ich eine weitere Ligatur um die atrio-ventrikulare Grenze gelegt. Sie muß aber natürlich so gebildet werden, daß die Erregungsleitung nicht wie bei der zweiten Stanniusschen Ligatur unterbrochen wird. Dies kann dadurch erzielt werden, daß man nicht einen dünnen Faden für die Ligatur verwendet, sondern einen breiten Verband anlegt. In der letzten Zeit verwende ich dazu einen dicken Wollfaden, der mehrmals um diese Stelle herumgeschlungen ist.

Umänderung des Williamsschen Verfahrens. Die verschiedenen Erwägungen in den vorausgehenden Abschnitten führten mich zu folgender Veränderung des Williamsschen Verfahrens. Die Hauptanordnung ist dieselbe wie bei dieser Methode. (s. Fig. 6.) Es folgen aufeinander: Reservoir, Verbindungsröhre, venöses Ventil, Doppelwegkanüle, Aortenkanüle, Doppelwegkanüle, arterielles Ventil, Ausflußrohr, das in das Reservoir zurückführt. Die wesentlichen Teile des Apparates sind aus Metall gebildet. Man wird bei diesem Material bleiben, bis eine etwaige Schädlichkeit erwiesen worden ist. Unter Umständen könnte man zu Platin greifen, wie dies von Cyon (1866) schon für einen Teil seines Apparates ausgeführt worden ist. Auch könnten die Teile vergoldet oder platiniert werden. Kann der Apparat aus Metall ausgeführt werden, so kann er präziser, kompendiöser und handlicher gestaltet werden, als wenn er aus Glas gefertigt werden muß. Die Doppelwegkanüle ist der Träger der Ventile und der Aortenkanüle. Die Doppelwegkanüle besitzt eine Verschraubung, mit der sie in eine Hartgummiplatte eingesetzt werden kann. Diese Platte ist an einer Stativstange befestigt, die den ganzen Apparat trägt. An die Hartgummiplatte kann von unten ein Glasgefäß wasserdicht angeschraubt werden. Das Glasgefäß besitzt unten eine Röhre mit Hahn, durch die es gefüllt werden kann. Ebenso ist in die Hartgummiplatte eine Röhre eingefügt, die das Innere des Glasgefäßes mit einem volumregistrierenden Apparat, am besten einer Mareyschen Kapsel, verbindet. Die in dem Innern des Herzens sich abspielenden Druckschwankungen, die Ventrikeldruckschwankungen, werden durch ein elastisches (Gummi- oder Feder-) Manometer aufgeschrieben. Es können sowohl die Volum- und Druckschwankungen registriert werden, die bei der Durchströmung des Herzens in dem künstlichen Kreislauf, als auch diejenigen, die unter den besonderen Bedingungen der isometrischen und isotonischen Zuckungen stattfinden. Wenn das Herz isometrisch tätig sein soll, wird es zunächst gegen die venöse Seite durch einen Hahn abgeschlossen. Nachdem es seinen Inhalt fast vollständig entleert hat, wird es auch gegen die arterielle Seite durch einen Hahn abgeschlossen und arbeitet nunmehr isometrisch unter den von mir oben (S. 127) statuierten Voraussetzungen. Dann wird die Füllung des Herzens durch Öffnung des venösen Hahns etwas vergrößert, so lange bis das Maximum der isometrischen Zuckungen nicht mehr wächst. Dieses — absolute — Maximum ist

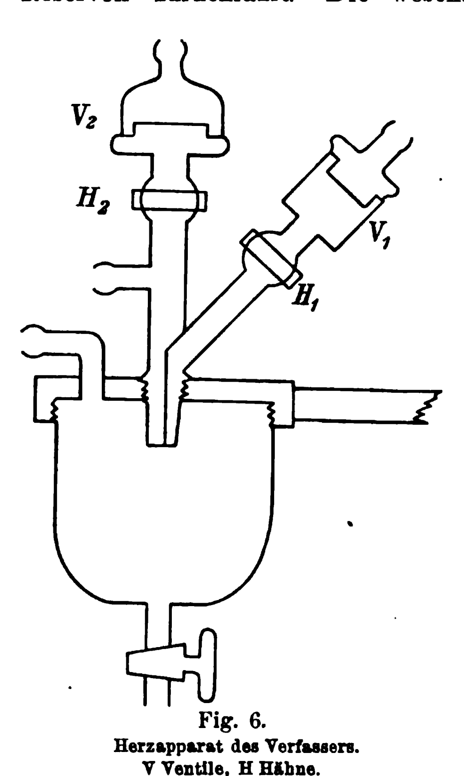


Fig. 6.
Herzapparat des Verfassers.
V Ventile, H Hähne.

von mir als absolute Kraft bezeichnet worden. Sie ist ein bestimmt definierter Begriff. Die isotonische Zuckung wird dadurch erzeugt, daß man das venöse Ende des Herzens verschließt (durch den venösen Hahn) und nun das T-Rohr an der arteriellen Seite mit einem in verschiedener Höhe verstellbaren Reservoir verbindet. Jede beliebige Zuckungsform kann so mechanisch analysiert werden. Man wird bei der Konstruktion dieses Apparates die Prinzipien der mechanischen Analyse der Registriersysteme, insbesondere der Flüssigkeitssysteme, anzuwenden haben, also alle Röhren, in denen sich die Flüssigkeit bewegt, möglichst weit gestalten. Die Handhabung des Apparates ist ebenso einfach wie die des Williamsschen. Sollte sich das Bedürfnis herausstellen, eine andere Form der Tätigkeit des Herzens zu untersuchen, also etwa Druck- und Volumveränderung so zu gestalten, wie es bei den Arbeiten an dem Quecksilbermanometer nach Kronecker u. a. der Fall ist, so läßt sich dies bei dem Apparat leicht ausführen, indem man ein Quecksilbermanometer anschließt. Man wird aber die Druckschwankung in dem Herzen nicht durch das Quecksilbermanometer selbst registrieren, sondern durch das elastische Manometer des Apparates, denn das Quecksilbermanometer ist technisch unzuverlässig und gibt die Druckschwankungen vor allem wegen seiner Trägheit nicht richtig wieder. Auch Unterstützungszuckungen usw. können erhalten werden. Der von mir beschriebene Apparat dient prinzipiell auch zur direkten Aufzeichnung der Arbeitsleistung nach dem Indikatorprinzip (s. Tl. I Kap. 21). Untersucht man nur für kurze Zeit, so kann man die Herzabteilungen einfach endständig mit einem Hg-Manometer verbinden, wie dies Bowditch (1871) für die Herzspitze und Engelmann (1882) für den Aortenbulbus ausgeführt haben.

c) Das ganze Herz.

Das ganze Herz — Ventrikel, Vorhof und Sinus — ist das von der Ludwigschen Schule fast ausschließlich benutzte Objekt gewesen. Cyon (1866) und Coats (1869, s. unten) haben eine zweckmäßige Anordnung des Apparates angegeben. Später sind dann von Blasius (1871) und Böhm (1872), ferner von Marey (1875) Modifikationen dieses Verfahrens ausgebildet worden. Die Methoden zur Registrierung der mechanischen Zustandsänderungen des Herzens waren bei den verschiedenen Forschern verschieden. Ich habe die Überzeugung, daß auch hier die elastischen Manometer bei weitem den Vorzug (Hürthle 1892, Frank 1895) verdienen. Von keinem dieser älteren Untersucher waren die Bewegungen des Vorhofs registriert worden, hauptsächlich wohl, weil die Registrierung mit Quecksilbermanometern oder ähnlichen unempfindlichen Instrumenten nicht möglich ist. Passend gestaltete elastische Manometer gestatten leicht, die Bewegung des Vorhofs aufzuzeichnen (Frank 1895). Ebenso sind die Schwankungen des Drucks in dem Ventrikel erst von mir aufgezeichnet worden. Da, wie ich glaube, die älteren Methoden durch diese neuen überholt sind, werde ich sie nicht vollständig beschreiben, sondern nur das berücksichtigen, was bei ihnen zweckmäßig ist.

Der in Fig. 7 abgebildete Teil des von mir benutzten Apparates dient zur Befestigung des Präparates. Da es wohl keinen Vorteil hat, die Volumschwankungen des ganzen Herzens, des Ventrikels und des Vorhofs, plethys-

mographisch zu registrieren, weil die Analyse der komplizierten Kurven sehr schwierig ist, so wird man die Vorrichtung zur Befestigung des Herzens so gestalten, daß es in ein offenes Bassin eintaucht. Außerdem müssen die

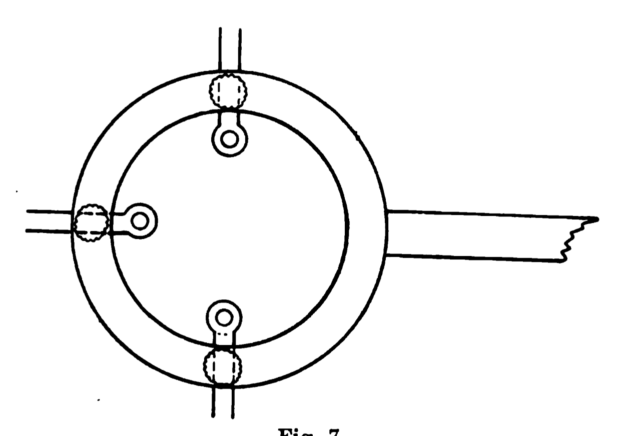


Fig. 7.
Herzapparat des Verfassers. Halter für die Kanülen.

Kanülen, die in das Herz eingebunden sind, wegen der verschiedenen Größe der Präparate in veränderliche Entfernung gebracht werden können. Ich befestige deshalb das Präparat an einem Metallring, durch den in Winkelabstän-

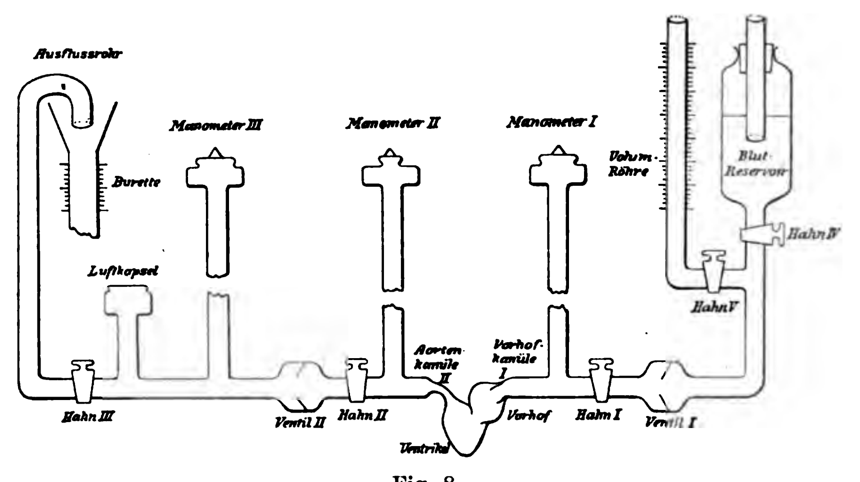


Fig. 8.
Schema der Anordnung.

den von 120 Grad drei Öffnungen gebohrt sind. Durch die Öffnungen können in ihrer Richtung verschiebbar Stäbchen hindurchgesteckt werden, die mit Schrauben in passender Stellung fixiert werden. Die drei Öffnungen mit den Schrauben stellen also kleine Muffen dar. An zwei der Stäbchen sind die Kanülen für die venösen und arteriellen Ostien des Herzens befestigt.

Das dritte Stäbchen dient zur Aufnahme einer Reizelektrode. Als Aortenkanülen verwende ich den Williamsschen ähnliche. Sie sind auf einen Konus aufgesteckt, der am Ende des Metallrohrs angeschliffen ist, das mit dem arteriellen Ventil in Verbindung steht. Die Aortenkanüle muß zur Ventrikeldruckmessung durch die Spiralklappe hindurchgeführt werden. (Hürthle 1892 hat die Spiralklappe erhalten.) Die Befestigung der Aorta auf der Kanüle gibt dem Präparat den hauptsächlichsten Halt. Die venösen Kanülen müssen in der verschiedensten Stärke vorrätig gehalten werden. Sie sind an dem zweiten Stäbchen befestigt und rechtwinklig gebogen. Ihre Mündung führt durch die große untere Hohlvene in den Sinus. Die Arterienkanüle, die Ventile und die Röhren sind ähnlich gebildet wie bei dem oben beschriebenen Apparat. (s. Fig. 6.) Das Schema zeigt d. Fig. 8. Die Möglichheit, die bei diesem Apparat gegeben ist, die Entfernung der venösen und arteriellen Kanüle, ebenso die Höhe der venösen Kanüle der Größe des Präparats anzupassen, ferner die arterielle Kanüle leicht um den Konus zu drehen, gewährleistet, daß Verdrehungen des Präparats vermieden werden. Mit der Elektrode können leicht Reizungen des Herzmuskels selber oder der Herznerven vorgenommen werden. An den Ring kann von unten durch Bajonettverschluß das Spülbassin angehängt werden. Die Anordnung ist kompendiös und dürfte für viele Untersuchungen zweckmäßig sein. Alle möglichen Zustandsänderungen können mit ihr untersucht werden. Von Oehrwall (1897) und Santesson (1897) sind ganz ähnliche Apparate benutzt worden.

Ob zwischen dem venösen Ostium des Vorhofs, in dem die Venenkanüle eingebunden ist, und dem mit ihr verbundenen Flüssigkeitsreservoir ein Ventil eingeschaltet werden soll, oder ob es frei mit dem Reservoir kommunizieren soll, läßt sich noch nicht sicher sagen. Eine Klappe zwischen den großen Venen und dem Sinus existiert in vivo ja nicht. Aber die Kontraktion der Enden der Venen wirkt wie ein Klappenschluß, dessen Effekt in quantitativer Beziehung allerdings noch nicht untersucht worden ist. Von mir (1895) sind beide Methoden benutzt worden, ohne daß ich zu einem abschließenden Urteil kommen konnte. Bei einer weiteren Verwendung dieser Methode wäre diesem Punkt jedenfalls eine besondere Beachtung zu schenken, da die mechanischen Verhältnisse der Einströmung der Flüssigkeit in das Herz von der größten Wichtigkeit für die Leistungen des Herzens sind (s. Frank 1895). Immer ist zu bedenken, daß die natürlichen Atrio-ventrikular-Klappen meistenteils durch die Präparation insuffizient werden (s. Blasius 1871 und Frank 1895). Man wird, wenn die mechanischen Verhältnisse streng untersucht werden sollen, auf diese Insuffizienz zu achten haben und nur solche Herzen aussuchen, die sie nicht aufweisen. Wie die Insuffizienz nachgewiesen werden kann, ist von mir (1895) gezeigt worden. Die Volumveränderungen des Herzens bezw. die Strömungsgeschwindigkeiten können mit den oben S. 127 geschilderten Methoden festgestellt werden. Sie sind wohl der umständlichen und verwickelten Methode vorzuziehen, mit der Jacobj (1900) die Volumschwankungen aufgeschrieben hat.

Die Aortenkanüle steht, wie vorhin erwähnt worden ist, mit einem Ventil in Verbindung, das die arterielle Klappe — Spiralklappe — ersetzt. Wenn man die Tätigkeit des Herzens derjenigen analog gestalten will, die es in dem natürlichen Kreislauf ausführt, so kann man hinter diesem Ventil das

Röhrensystem elastisch machen, am besten wohl durch seitliche Anfügung von kleinen mit Luft gefüllten Kugeln, die als Windkessel funktionieren, wenn in die Ausmündung des Rohrs ein Strömungswiderstand durch Verengerung des Rohrs (Hahn oder Quetschklemme) eingeschaltet wird. Ob dadurch für die Erhaltung der Leistungen des Herzens etwas genützt wird, steht bis jetzt noch nicht fest. Nach der allgemeinen Meinung der Beobachter, die sich besonders auf Versuche am ausgeschnittenen Warmblüterherz stützt, könnte dies vielleicht zutreffen. Auf jeden Fall kann man diese Vorrichtung als Modell zur Untersuchung der Bildung des arteriellen Pulses benutzen. Daß der venöse Druck zur Erhaltung der Leistungen des Herzens niedrig gehalten werden muß, ist von mir (1895) und besonders von Jacobj (1900) gezeigt worden.

d) Modifikationen der Zirkulationsapparate für besondere Zwecke.

Von Coats (1869) ist eine Anordnung zur Befestigung des Präparats gewählt worden (s. Fig. 9), die hauptsächlich den Zweck hat, das Präparat, besonders seine Nerven, der anatomischen Untersuchung und der Reizung leicht zugänglich zu machen. Dies geschieht dadurch, daß der Magen über ein weites Glasrohr gezogen und dadurch ein Teil der Brustregion des Frosches in die Fläche so ausgedehnt wird, daß sie zur Beobachtung bequem zugänglich ist. Coats beschreibt die Präparation S. 360 folgendermaßen:

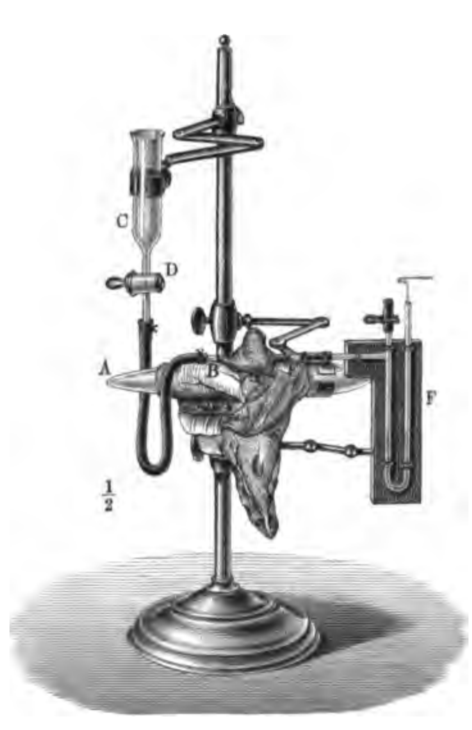


Fig. 9.
Herzpräparat nach Coats.

„Die Vorbereitungen, welche am Frosch zur Anstellung der Versuche notwendig, sind kurz folgende: Mit einem Stift wird Hirn und Rückenmark durchbohrt, das Tier unterhalb der Leber durchschnitten, von der oberen Hälfte wird sorgfältig das Brustbein samt den oberen Extremitäten entfernt, dieses jedoch mit der Vorsicht, auf einer Seite einen großen Hautlappen zu erhalten, welcher als Decke für die Nerven und das Herz benutzt werden kann; das bloßgelegte Herz befreit man vom Herzbeutel, durchschneidet die kleine Brücke der Serosa, welche durch die Höhle des letzteren hindurchgeht, nachdem dieselbe vorerst mit einem feinen Faden umschnürt wurde.....

„Nach Eröffnung des Herzbeutels wird ein Zweig der Aortengabel unterbunden und in den zweiten eine Glaskanüle durch den Bulbus aortae hindurch bis zum Ventrikel hingeschoben und einge-

bunden; nun trennt man bis auf den Stamm der unteren Hohlvene die Hängebänder der Leber ab, legt einen Faden um das Gefäß, eröffnet dieses letztere, führt eine möglichst starke Glaskanüle bis in den Vorhof ein und bindet dieselbe fest. Hierauf wird Leber und Lunge entfernt, der Magen etwa in seiner Mitte durchschnitten und alsdann eine starke, an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhre durch den Mund ein- und zum offenen Magen wieder ausgeführt; es ist zweckmäßig, diese Röhre von einem so großen Durchmesser zu nehmen, als es nur immer die Dimensionen der tierischen Teile erlauben, weil hierdurch der Vagus auf seinem Verlauf von der Wirbelsäule bis zum Herzen möglichst entfaltet und das Herz vom Ursprung des Nerven möglichst entfernt wird.

Deshalb ist es auch zweckmäßig, die Unterbindung der Jugularvenen zu unterlassen, die ohnedies mit Klappen versehen sind, welche den Austritt von Flüssigkeit aus den Vorhöfen verhindern."

Das Coatsche Präparat ist auch von Boehm (1872), mir (1897), Esslemont (1901), Asher (1905) angewendet worden.

Locke (1904) konstruiert einen Durchströmungshahn, der ein rasches Wechseln der Durchströmungsflüssigkeiten, mit denen ein Organ, z. B. das Herz, durchströmt wird, gestattet. Eine tote Strombahn ist dabei möglichst vermieden.

Um das Herz, während es im Kreislauf tätig ist, auf beliebige Temperaturgrade bringen zu können, hat Cyon (1866) eine Einrichtung getroffen, die nach der Abbildung (Fig. 10) leicht verständlich ist. Sie besteht aus dem Kreislaufröhrensystem, in das das ganze Herz zwischen den Platinröhren o und p mittels Kanülen eingefügt ist. Durch passende Stellung des T-Hahns t kann das Quecksilbermanometer mit dem Herzen endständig verbunden werden. In das Kreislaufröhrensystem mündet die schiefgestellte Röhre s, r, q ein, durch die ein Thermometer bis in das Lumen des Kreislaufs vorgeschoben werden kann. Das Ganze ist in einem Zylinder eingeschlossen, dessen unterer Teil doppelte Wände besitzt. Durch Glasfenster kann das in diesem Teil aufgehängte Herz beobachtet werden. Ein Strom von beliebig temperiertem Wasser kann von der oberen Mündung des Zylinders L, K durch die U-förmige Verbindungsröhre zu dem Raum zwischen den Wandungen des unteren Zylinders und von da durch die Röhre E hindurchgeführt werden. Ich gebe die Beschreibung des Apparates hier deshalb, weil er als Modell für ähnliche Vorrichtungen dienen kann.

Zu vielen Versuchen hat Cyon, ebenso wie Ide (1892), eine einfachere Vorrichtung benutzt, die er folgendermaßen beschreibt:

„Statt des bis dahin beschriebenen komplizierten Erwärmungsapparates kann man auch einen viel einfacheren anwenden. Sehr häufig habe ich die Vena cava zugebunden, und nur in die Aorta ein gerades Röhrchen von mehreren Zentimetern Länge eingesetzt und dieses vermittels eines Knies an das Manometer gebracht. Um das Herz hing ich alsdann ein zylindrisches unten geschlossenes Metallzylinderchen, welches gerade weit genug war, um das Herz nirgends zu berühren. Die obere Öffnung bedeckte ich mit einem Stück Pappe, das zum Behuf des Röhrendurchgangs mit einem Ausschnitt versehen war. Dadurch, daß ich den Metallzylinder in Eis oder in Wasser verschiedener Temperatur eintauchte, war ich imstande, auch

das Herz beliebig zu erwärmen. Zu sehr raschen Temperaturänderungen eignet sich diese Einrichtung allerdings weniger."

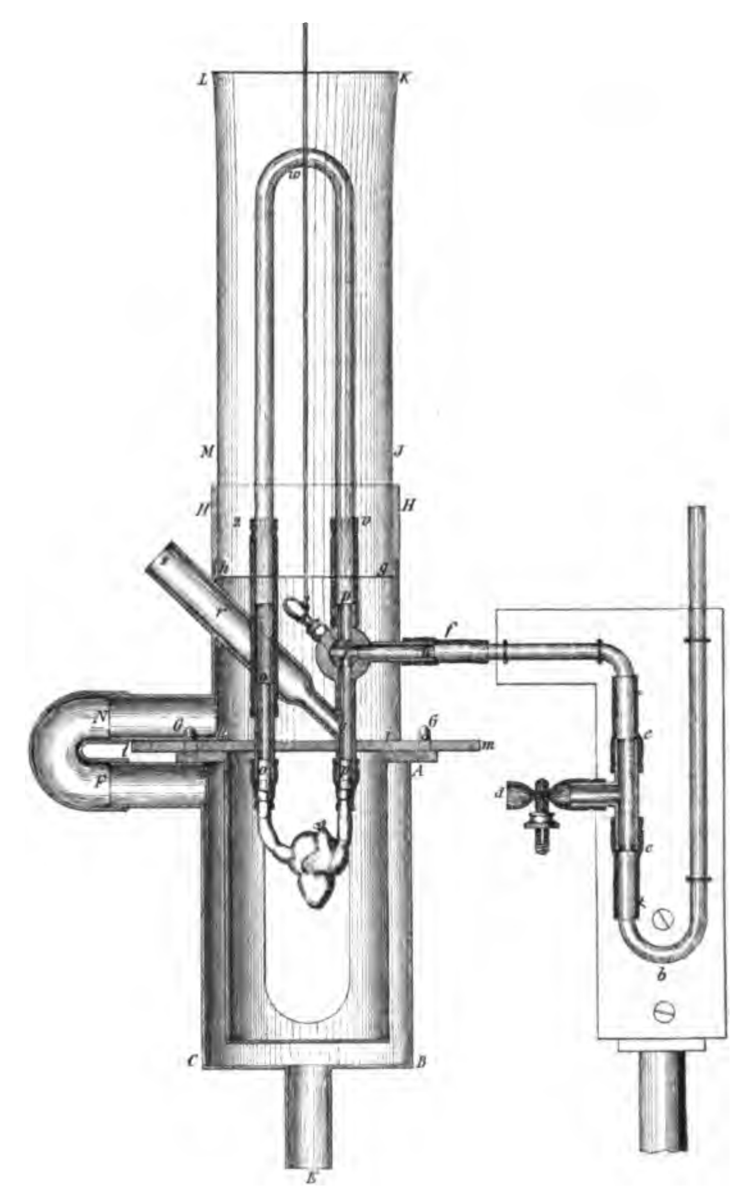


Fig. 10.
Herz in Thermostaten eingeschlossen nach Cyon.

Sehr zweckmäßig dürfte es sein, den ganzen Apparat in ein entsprechend temperiertes Wasserbad mit gläsernen Wänden zu setzen, wie dies Flatow (1892) mit dem Williamsschen Apparat ausgeführt hat.

Engelmann (1882) hat den mit einem Hg-Manometer verbundenen Bulbus aortae durch eine von einem elektrischen Strom durchflossene Kupferspirale erwärmt.

(Im übrigen siehe das Kapitel 59: Einwirkung verschiedener Temperaturen auf das Herz.)

Howell and Warfield (1881) bedienen sich unter der Leitung von

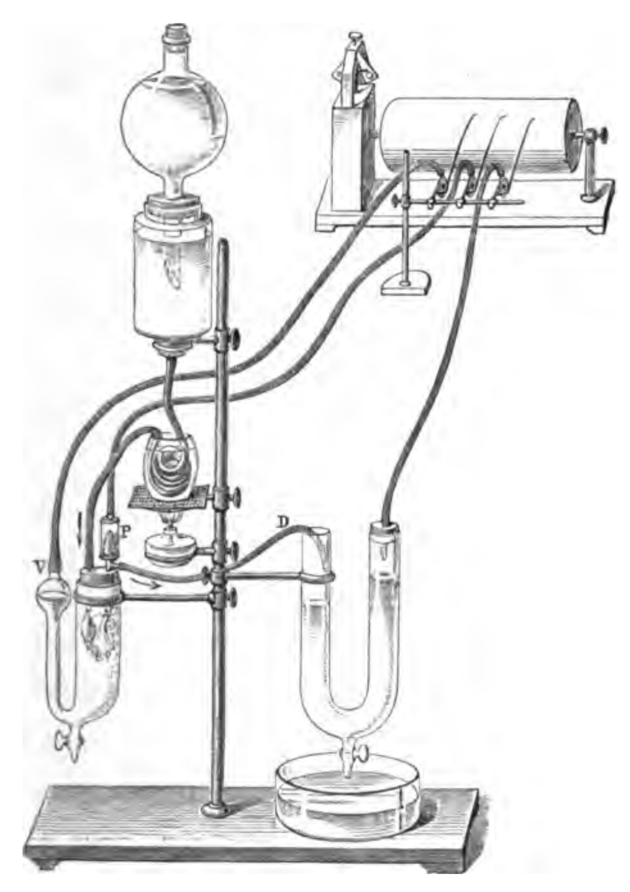


Fig. 11.
Künstlicher Kreislauf für das Schildkrötenherz mit Druckmesser P (Sphygmoskop) und Volumenmesser V bezw. D nach Marey (Methode Graphique 1885 s. 688).

Martin einer ähnlichen Methode, wie sie Martin für das ausgeschnittene Warmblüterherz angewandt hat. (S. das nächste Kapitel.)

Die Apparate, die Camus (1901, 1904 und 1905) für das Studium der Mechanik des Schildkrötenherzens angegeben hat, sind hauptsächlich dadurch bemerkenswert, daß sie vollständig geschlossen sind und mit einer bestimmten in dem Apparat befindlichen Sauerstoffmenge arbeiten. In der letzten Mitteilung hat Camus einen Doppelapparat angegeben, der für ver-

gleichende Beobachtungen von stofflichen Wirkungen auf das isolierte Schildkrötenherz dienen soll.

Asher (1905) verwendet das Coatssche Herzpräparat und läßt es mit verdünntem Blut von dem Sinus aus durchströmen. Die Herzbewegungen werden mit der Suspensionsmethode aufgeschrieben.

Für das isolierte Schildkrötenherz konstruierte Lambert (1905) einen einfachen Zirkulationsapparat. Ein Apparat von Marey ist auf der vorhergehenden Seite abgebildet.

Die Neuerung, die Hoffmann (1903) an dem Froschherzapparat anbringt, ist ein in das arterielle System eingesetzter Teil, den er als Druckregulierungsapparat bezeichnet. Tatsächlich ist er ein Ventil, das im wesentlichen so wirkt wie ein Williamssches, nur komplizierter gestaltet ist, einen wesentlich größeren Widerstand besitzt, und dessen mechanische Verhältnisse sich nur sehr schwer übersehen lassen.

Der Vollständigkeit halber erwähne ich die Konstruktion von Klug (1903 und 1907).

Von Nilsson (1906) ist der Gaswechsel des tätigen Froschherzens mit dem Thunbergschen Mikrorespirometer bestimmt worden. Schon im Jahre 1854 hat Castell mit einem einfachen Verfahren die Einwirkung der Kohlensäure und des Sauerstoffs auf das schlagende Froschherz gezeigt. (Siehe Gscheidlen S. 597.) Oehrwall (1897) hat mit einem Zirkulationsapparat die Einwirkung verschiedener Gase auf das Froschherz untersucht.

Asher 1905. Demonstration einer neuen Methode der Untersuchung des Kaltblüterherzens nebst Bemerkungen über antagonistische Nerven. (6me Congr. intern. Physiol. Bruxelles) Arch. internat. Physiol. 2.

Blasius 1871. Am Froschherzen angestellte Versuche über die Herzarbeit unter verschiedenen innerhalb des Kreislaufs herrschenden Druckverhältnissen. Verhandl. d. physik. med. Ges. Würzburg II, p. 49.

Boehm 1872. Untersuchungen über die physiologische Wirkung des Digitalis und des Digitalin. Pflügers Arch. V, p. 153.

Bottazzi 1900. Action du vague et du sympathique sur les oreillettes du coeur de l'Emys europaea. Arch. ital. d. biol. XXXIV. p. 17.

Bowditch 1871. Über die Eigentümlichkeiten der Reizbarkeit, welche die Muskelfasern des Herzens zeigen. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., p. 652.

Brodie 1902. A simple form of frog-heart-lever suitable for class-work. Journ. of. physiol. 27, Physiol. soc., p. 31.

Lauder Brunton 1876. A simple method of demonstrating the effect of heat and poisons upon the heart of the frog. Journ. of anat. and physiol. 10 p. 602. s. Gscheidlen S. 595.

Camus 1901. Nouveau dispositif expérimental pour circulation artificielle dans le coeur isolé. Arch. d. physiol. et d. pathol. génér. p. 921.

Camus 1901. Sur un appareil pour circulation artificielle dans le coeur isolé et à inscription de changements de volume. C. R. d. l. soc. d. biol. p. 202.

Camus 1904. Appareil pour l'étude du coeur isolé. C. R. soc. biol. LVII, p. 86.

Camus et Goulden 1905. Nouveaux appareils pour l'étude du coeur isolé. C. R. Soc. Biol. Paris T. 59, p. 496.

Camus 1905. Internat. Physiol. Kongress s. 1904.

Coats 1869. Wie ändern sich durch die Erregung des N. vagus die Arbeit und die inneren Reize des Herzens? Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss.

Cyon 1866. Über den Einfluß der Temperaturveränderungen auf Zahl, Dauer und Stärke der Herzschläge. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. p. 256.

Cyon 1901. Sur les méthodes de la circulation artificielle dans le coeur isolé. C. R. d. l. soc. d. Biol. p. 513.
Czermak 1869. Beschreibung einiger Vorrichtungen zu physiologischen Zwecken. Sitzungsber. d. Wiener Akad. 59, S. 240. Siehe Gscheidlen S. 573.
Dreser 1888. Über Herzarbeit und Herzgifte. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 24, p. 222.
Durdufi 1889. Beiträge zur pharmakologischen Physiologie des Froschherzens. Arch. f. exper. Pathol. XXV. p. 441.
Durham 1903. On frog-heart-tracings. Journ. of physiol. 30. Physiol. Soc. XXVII—XXIX, XXXI.
Durham 1905. On tracings from the auricle, ventricle and sinus of the frogs heart. Journ. of. physiol. 33, p. XXIV.
Elliot and Burnett 1904. A modification of professor Schäfer's frog heart plethysmograph, with some observations on the method of using it. Journ. of physiol. 30, p. 455.
Engelmann mit Hartog und Verhoeff 1882. Der Bulbus aortae des Froschherzens, physiologisch untersucht. Pflügers Archiv 29, p. 436.
Engelmann 1892. Beobachtungen und Versuche am suspendierten Herzen. Arch. f. d. ges. Physiol. LII, p. 357.
Engelmann 1900. Neuere Methoden zur Untersuchung der Herztätigkeit. (Physiol. Ges. Berlin). Arch. f. Anat. und Physiol. p. 178.
Esslemont 1901. Über die Innervation des Herzens. Arch. f. exper. Pathol. XLVI, p. 197.
Flatow 1892. Über den Einfluß der Temperatur auf die Tätigkeit des Froschherzens. Archiv f. exper. Pathol. Pharmakol. XXX, S. 363.
Frank 1895. Zur Dynamik des Herzmuskels. Zeitschr. f. Biol. XXXII, p. 370.
Frank 1896. Die Wirkung von Digitalis auf das Herz. Arch. f. klin. Chirurgie Bd. 53, H. 1.
Frank 1898. Die Arbeit des Herzens und ihre Bestimmung durch den Herzindikator. Sitzungsber. d. Ges. f. Morphol. und Physiol. München.
Frank 1901. Isometrie und Isotonie des Herzmuskels. Zeitschr. f. Biol. 41, S. 14.
Gaskell 1882. On the rhythm of the heart of the frog, and on the nature of the action of the vagus nerve. Philos. Transactions Roy. Soc. 173, III, p. 993.
Giesen 1908. Schlagfolge und Reizbarkeit des Herzmuskels. Dissertation, Giessen.
Heidenhain 1882. Untersuchungen über den Einfluß des Nervus vagus auf die Herztätigkeit. Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. p. 383.
Hoffmann 1903. Apparat zur Erhaltung einer künstlichen Zirkulation am überlebenden Froschherzen. Arch. f. d. ges. Physiol. 100, p. 249.
Howell u. Mactier Warfield 1881. The influence of changes of arterial pressure upon the pulsrate, in the frog and terrapin. Studies f. John Hopkin's Univ. Bd. II, p. 235.
Hürthle 1892. Orientierungsversuche über die Wirkung des Oxyspartein auf das Herz. Arch. f. exper. Pharmakol. u. Pathol. Bd. 30, S. 146.
Jacobj 1900. Zur Physiologie des Herzens unter Berücksichtigung der Digitaliswirkung. Arch. f. exper. Pathol. XLIV. p. 368.
Klug 1903. Zwei Froschherzmanometer als Kreislaufschema und Versuche mit denselben. Arch. f. d. ges. Physiol. 99, p. 594.
Klug 1907. Zwei Blutkreislaufsphantome. Math.-nat. Ber. Ungarn Bd. 21. p. 265.
Klug 1907. Phantom für den Blutkreislauf. Math.-nat. Ber. Ungarn Bd. 21, p. 257.
Lambert 1905. Appareil pour l'étude du coeur isolé. C. R. Soc. Biol. Paris T. 59, p. 616.
Lambert 1906. Sur la durée de la persistance de l'activité du coeur isolé. C. R. Acad. Sc. Paris T. 142, p. 597.
Locke 1904. A perfusion-stopcock. Journ. of physiol. 31. Physiol. soc. p. XII-XIII.
Luciani 1873. Eine periodische Funktion des isolierten Froschherzens. Ber. d. sächs. Akad. Math.-phys. Kl. p. 11.

Ludwig 1849. Über den Bau und die Bewegungen der Herzventrikel. Ztschr. f. rat. Med. 7. S. 203.

Mosso et Pagliani 1877. Étude critique et expérimentale sur la doctrine de l'activité diastolique du coeur, p. 20.

Marey 1875. Memoire sur la pulsation du coeur. Trav. du labor. de Marey. S. 44, 51. (Siehe Gscheidlen S. 596.)

Nilsson 1906. Quantitative Bestimmungen des Gasaustausches des herauspräparierten Froschherzens. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 20, p. 202.

Oehrwall 1897. Erstickung und Wiedererweckung des isolierten Froschherzens. Skandinav. Arch. f. Physiol. VII, p. 222.

Roy 1878. On the influences which modify the work of the heart. Journ. of Physiol. vol. I, S. 452.

Santesson 1887. Eine Methode für künstliche Zirkulation durch das isolierte Froschherz. Zentralbl. f. Physiol. XI, p. 265.

Schäfer 1884. The piston-recorder; an apparatus for recording and measuring the changes of volume of tye contracting frog's heart. Journ. of physiol. V, p. 130.

Schäfer 1884. A method of recording changes of volume by means of photography and its application to the plethysmographic record of the normal frog-heart. Journ. of physiol. V, p. 127.

White 1897. Vergleich der Wirkungsart von Kroneckers Herzperfusionskanüle und Williams Modifikation derselben. Zeitschr. f. Biol. XXXV, p. 1.

Williams 1880. Über die Ursache der Blutdrucksteigerung bei der Digitalinwirkung. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. XIII, p. 1.

Zuntz 1908. Ein etwas verändertes Kroneckersches Herzmanometer. Zeitschr. f. biol. Techn. Method. Bd. 1. p. 197.

Kapitel 24.

Das isolierte Warmblüterherz.

A. Geschichtliches.

Die Versuche, das isolierte Warmblüterherz längere Zeit am Schlagen zu erhalten, und so für die Beobachtung seiner Tätigkeit und ihrer Veränderung einfache Verhältnisse zu gewinnen, reichen ziemlich weit zurück. Schon Ludwig und seine Schüler (s. u. a. Ludwig und Schmidt 1868) haben eine teilweise Isolierung des Warmblüterherzens aus dem übrigen Körperkreislauf erzielt. Abzusehen ist hier von den Versuchen, in denen nur ganz kurz dauernde Beobachtungen rasch nach dem Ausschneiden des Herzens gemacht worden sind (z. B. Landois 1876 refer. Gscheidlen S. 546).

Derartige vereinfachte Kreislaufssysteme, in denen als das Hauptorgan das Herz, aber noch einzelne andere, hauptsächlich die Lunge, mit eingeschlossen sind, sind außer von Martin (1881), Stolnikow, Pawlow später noch von Bock und Hering gebildet worden. Die ersten erfolgreichen Bestrebungen, das Warmblüterherz vollständig zu isolieren, und durch Speisung mit einer geeigneten Nährflüssigkeit und unter Berücksichtung der übrigen für den Herzschlag notwendigen Bedingungen längere Zeit im Schlagen zu erhalten, rühren von Newell Martin her. Sie beginnen im Jahre 1883. Martin hat dann nach verschiedenen Änderungen, die er an seinem Apparat angebracht hat, das Verfahren soweit verbessert, daß es schon im Jahre 1890 (Martin und Applegarth) dem später durch

Langendorff ausgebildeten, jetzt vorwiegend zur Anwendung gelangten Verfahren glich. Die erste Mitteilung von Langendorff stammt aus dem Jahre 1895, eine weitere Beschreibung erfolgte im Jahre 1897.

Zur Vervollständigung dieser geschichtlichen Daten diene noch folgendes: Nach einer Bemerkung von Gottlieb und Magnus (1901, S. 33) hat François-Franck schon in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts das Warmblüterherz von den wechselnden Widerständen des großen Kreislaufs mit einer ähnlichen Methode unabhängig zu machen versucht, wie dies später Bock gelang. (S. François-Franck 1893.) Im Jahre 1891 hatte Arnaud für das Kaninchen, 1892 Hédon et Gilis für den Menschen und den Hund gezeigt, daß das bereits stillstehende Herz durch Einspritzung von Blut in die Kranzarterien wieder belebt werden kann.

Daß das ausgeschnittene Herz von Neugeborenen und von winterschlafenden Tieren eine besondere Lebenszähigkeit besitzt, und durch einfache Maßnahmen am Schlagen erhalten werden kann, ist von Heinricius (1890) gezeigt worden. Es bleibt, selbst wenn der Koronarkreislauf nicht erhalten ist, längere Zeit am Leben.

B. Vereinfachter Kreislauf.

a) Methode von Martin.

Benutzt in den Arbeiten von Martin (1881, 1882, 1883), Martin und Donaldson (1887), Martin und Steffens (1883), Donaldson und Howell (1884), Bryer (1886).

Aus Donaldsons (1887) Beschreibung der endgültig von Martin angenommenen Methode hebe ich folgendes hervor:

Als Versuchstiere dienten kleine Hunde. Sie waren vorher durch Morphium tief narkotisiert, tracheotomiert und dann kurarisiert. Die Vagus- und Sympathicusstämme wurden beiderseits durchtrennt, eine Kanüle in die rechte Carotis gelegt, die linke unterbunden. Das erste Paar Rippenknorpel und das mit ihnen verbundene Sternum wurde zugleich mit dem Episternum entfernt. Dann wurden die Arteriae mammariae internae unterbunden. Weiter das Brustbein und die Rippenknorpel bis zum Zwerchfell hinab weggeschnitten. Das meiste der rechten Thoraxseite wurde entfernt nach Unterbindung oder Abklemmung der Interkostal-Arterien. Die rechte Arteria subclavia wurde unterbunden, ebenso die rechte Vena azygos. Mehrere Fäden wurden lose um die Cava superior und Cava inferior gelegt. Dann wird die linke Arteria subclavia unterbunden. In die Aorta thoracica wird eine Kanüle, die mit einem Gummischlauch verbunden ist, eingeführt und bis zu dem linken Ende des Aortenbogens geschoben und dort festgebunden. Die Ligatur um die Vena cava inferior wird nun angelegt und eine mit defibriniertem Blut gefüllte Kanüle so schnell als möglich in die Cava superior eingeschoben. Schließlich fließt das Blut aus der Kanüle der Aorta thoracica in einen Trichter, der mit einer Mariotteschen Flasche in Verbindung steht. Aus dieser Flasche fließt es unmittelbar in die Kanüle der Vena cava superior. Unter Umständen werden auch zwei Flaschen benutzt, um unabhängig voneinander den venösen Druck, den arteriellen Druck und die Temperatur des Herzens oder des Blutes zu ändern. Das

ganze wird in einen teilweise von Glaswänden umschlossenen Wärmekasten von 125 cm Länge, 65 cm Breite, 65—130 cm Höhe gebracht. Ein mit der Carotis dextra verbundenes Manometer schreibt Druck- und Pulskurven auf. Die Pulsfrequenz, die Stromintensität und die Herzarbeit können als Funktion beliebiger Einwirkungen studiert werden.

Ähnlich war das Verfahren von Tschistowitsch (1887, siehe unter d), vergl. auch Fredericq (1886).

Mc Grath und Kennedy (1897) haben die letzte Methode Martins angewandt und einige Vorrichtungen zur Registrierung der verschiedenen

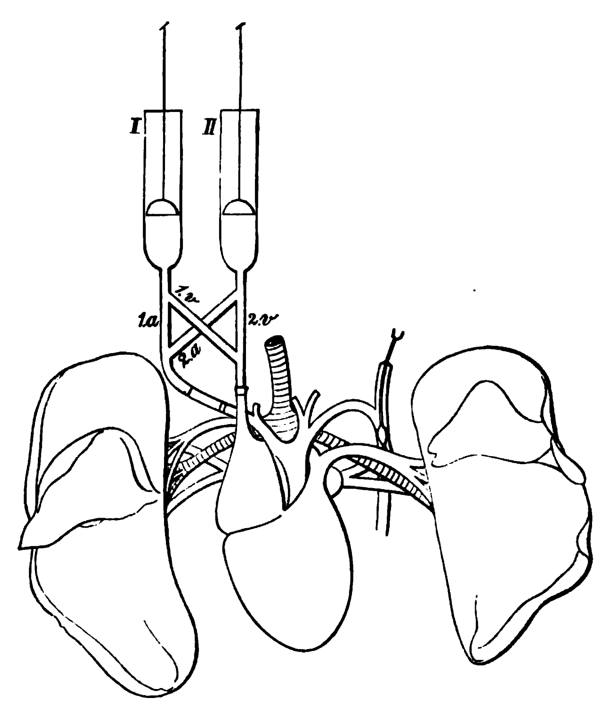


Fig. 12.
Kreislauf nach Stolnikow.

Drücke und zur Messung der Blutgeschwindigkeit hierfür konstruiert. (S. Hedbom 1898, S. 150.)

b) Methode von Stolnikow (1886).

Die Methode war von Ludwig dazu bestimmt, die von dem Herzen ausgeworfene Blutmenge, das Sekundenvolum oder die Stromstärke, zu messen. Das Verfahren ist von Ludwig selbst auf einen Hinweis Ficks ausgedacht und war vor Stolnikow von Meade Smith im Boston medical Journal beschrieben worden. Ähnlich wie bei den Verfahren von Martin, Tschistowitsch, Bock und Hering wird eine direkte Verbindung zwischen dem linken Ventrikel und dem rechten Vorhof hergestellt. Das Blut fließt

aus dem linken Ventrikel durch die Arteria axillaris dextra aus und durch die Vena jugularis dextra zum rechten Herzen zurück. Das Besondere des Ludwig-Stolnikowschen Verfahrens besteht darin, daß zwischen die Arterie und die Vene eine eigenartig gestaltete Stromuhr eingeschaltet ist. Die Arterie wird durch Kautschukverbindungen abwechselnd mit zwei Zylindern in Verbindung gesetzt, die auf der anderen Seite auch mit der Vene verbunden werden können. Diese vier Kautschukschläuche werden durch Stifte, die auf einer Schiene sitzen, abwechselnd so zusammengedrückt und wieder geöffnet, daß wenn die Arterie mit dem einen Zylinder in Verbindung steht, der Abfluß dieses Zylinders nach der Vene unterbrochen ist, während der Abfluß des vorher in dem anderen Zylinder angesammelten Blutes innerhalb dieser Zeit nach der Vene stattfindet. Bei dem Verschieben der Schiene in die andere Stellung werden die Verbindungen gewechselt. Auf der Blutflüssigkeit, die in den Zylindern auf- und absteigt, ruht ein Schwimmer. Er besteht aus einer hohlen gläsernen Halbkugel, von deren Pol sich ein steifer Stahlstab erhebt, der am freien Ende eine mit Tinte gefüllte Glasfeder trägt. Eine der Federn schrieb mit roter, die andere mit blauer Tinte. Das Instrument stellt also eine registrierende Stromuhr dar. (S. I, Kap. 19.) Die Kurven bilden Zickzacklinien.

Zu den Versuchen sind nur größere, vor den Operationen narkotisierte Hunde verwendbar. Die Tiere wurden immer durch Kurare oder durch Durchschneidung des Hirnstamms hinter den Vierhügeln oder des Rückenmarks im Bereiche des zweiten Halswirbels gelähmt. Weiter wurden die Tiere tracheotomiert und künstlich respiriert. Die eine der Karotiden wird mit einer lockeren Fadenschlinge versehen, in die andere wird eine Glaskanüle eingebunden. Das gleiche geschieht mit der Arteria cruralis. Beiderseits werden die von den Axillaren ausgehenden Äste mammariae, vertebrales, colli superficiales und profundae unterbunden und die Ax. dextra zwischen zwei Ligaturen mit einer weiten, blutreinen Glaskanüle versehen. In die Carotiskanüle wird ein Ficksches Federmanometer und in die Cruraliskanüle ein Quecksilbermanometer eingesetzt, um den späteren vollen Verschluß der Aorta zu kontrollieren. Nach der Beendigung der Operation wird in die Vena jugularis dextra eine Kanüle eingesetzt (von Ludwig besonders gestaltet, was aber nicht notwendig erscheint) und die Aorta mit dem „Stopfbeutel“ versehen. Die Stopfröhre ist ein Katheter, an dessen Ende ein aufblasbares Kautschukröhrchen angesetzt ist. Sie wird von der Arteria axillaris sinistra zur Aorta descendens vorgeschoben, das Kautschukbläschen wird dann im geeigneten Moment aufgeblasen, und so die Aorta unmittelbar unter dem Abgang der Axillaris verschlossen.

Vermutlich kann die Verschließung der Aorta descendens auf einfachere Weise durch Unterbindung bewirkt werden, entweder indem man von der Halsöffnung ausgeht oder eine Rippe reseziert.

Wie man sieht, werden bei dem Ludwig-Stolnikowschen Verfahren die Venen nicht unterbunden. Daß bei diesem Verfahren sich das Blut nicht etwa in abnormer Weise im rechten Herzen ansammelt, wird durch eine Überlegung plausibel gemacht. (S. 10, 11.) Daß es ferner nicht in den Lungengefäßen zurückgehalten wird, wird durch ein besonderes Experiment demonstriert. (Am besten wohl plethysmographisch, Frank.)

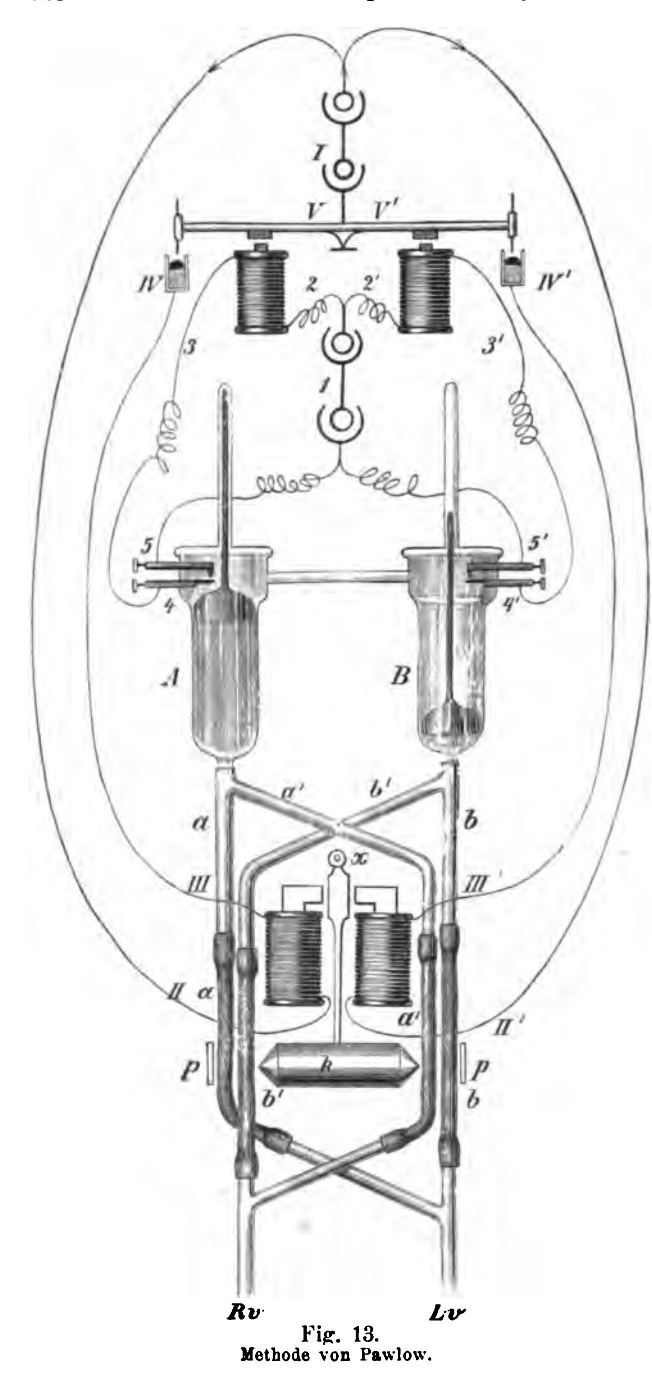


Fig. 13.
Methode von Pawlow.

c) Methode von Pawlow (1887).

Bei der Untersuchung von Pawlow wurde die Methode Stolnikows in wesentlich verbesserter Form benutzt. Die Umschaltung der Stromrichtung zu den Eichgefäßen, die früher der Hand überlassen war, wurde automatisch vorgenommen. Ferner waren die Zylindergefäße nicht oben offen, sondern verschlossen. Die über den Zylindern befindlichen Lufträume waren durch eine Röhre miteinander in Verbindung, so daß ebenso viel Blut in den einen Zylinder aus der Arterie einströmte, wie aus dem anderen Zylinder in die Vene abgeführt wurde. Die Einrichtung des Apparates wird durch die nebenstehende Abbildung demonstriert, die ohne weiteres verständlich ist. Sie zeigt im besonderen, daß bei dem Steigen des Schwimmers ein elektrischer Kontakt geschlossen wird, wodurch vermittels eines Relais der Anker eines kräftigen Elektromagneten den automatischen Verschluß der Kautschukschläuche der einen und das Öffnen der Schläuche der anderen Seite bewirkt. Die Markierung der Füllungszeiten geschah durch Registrierung der Relaisbewegung (S. 456)

Die Operation war insofern etwas vereinfacht, als bei offener Brusthöhle die Aorta oberhalb der Arteria subclavia sinistra durch einen Ligaturstab verschlossen werden konnte. Bei geschlossener Brusthöhle wurde das Verfahren Stolnikows angewendet.

d) Methode von Tschistowitsch (1887). (Schüler von Pawlow.)

Die Blutzirkulation ging in dem Präparat zum Schluß auf folgende Weise vor sich: „Aus dem Reservoir strömte das Blut in die V. jugularis communis dextra, Vena anonyma dextra, Vena cava super., die rechte Vorkammer, den Ventrikel, Art. pulmonalis und gelangte durch den rechten Zweig derselben und eine Verbindungsröhre direkt in die linke Vorkammer, den linken Ventrikel, die Aorta und durch die Art. anonyma und Art. subclavia dextra in das Reservoir zurück; alle übrigen Wege der Blutzirkulation waren abgesperrt." Um dies zu erreichen, wird die Art. subclavia dextra und die Vena jugularis communis zunächst abgeklemmt und durch Kanülen und Gummischläuche mit einem Reservoir von ca. 2 l verbunden. In dem Reservoir befindet sich durch physiologische Kochsalzlösung aufs doppelte verdünntes und auf 39° erwärmtes Hundeblut. Der Druck in dem venösen Rohr betrug 15—20 mm Quecksilber. Das mit der Arterie verbundene Rohr endete über dem Niveau der Flüssigkeit in dem Reservoir. Nach Eröffnung des Brustkastens wurden alle übrigen Zweige der Vena anonyma dextra, Vena anonyma sinistra, Vena azygos unterbunden. Die Arteria carotis dextra wird mit dem Manometer eines Kymographions in Verbindung gesetzt, die Vena cava inferior und der Arcus aortae zwischen der Art. anonyma und Art. subclavia sinistra mit Ligaturen umschlungen. Darauf wurden in das Zentralende der Arteria pulmonalis dextra und in das linke Auriculum gläserne Kanülen eingeführt und letztere durch ein mit 0,7 prozentiger Na Cl-Lösung gefülltes gebogenes Rohr verbunden. Die Herznerven werden durchschnitten. Nach Beendigung dieser Vorbereitung werden die Klemmpinzetten von der Art. subclavia dextra, von der Vena jugul. communis dextra, von der Art. pulmonalis dextra und vom Auriculum sin. entfernt, die Vena cava infer. und der Arcus aortae schnell zugeschnürt und die Art. pulmonalis sin. nebst den Ven. pulmonales mit Pinzetten zugedrückt. Bei dieser Versuchsanordnung sind beide Blutkreislaufe durch künstliche ersetzt. Die Lungenzirkulation ist ausgeschaltet. Der Druck wird durch das vorher erwähnte Manometer und das ausgeworfene Volumen direkt aus der Menge bestimmt, die aus der Art. subclavia ausfließt.

e) Methode von Hering (1898. Angewandt schon 1896).

Die Methode ist etwa dieselbe wie diejenige von Bock (s. unten). Nach Einbindung einer U-förmigen Glaskanüle in das zentrale Ende der einen Carotis und der gleichseitigen Jugularis werden in bestimmter Reihenfolge die Aorta und A. subclavia dextra et sinistra abgebunden, während mit der anderen Carotis ein Manometer in Verbindung gesetzt wird. Das Blut zirkuliert nun innerhalb folgenden Kreises:

„Linker Ventrikel, Aorta ascendens, Truncus anonymus, Carotis, U-förmige Kanüle, V. jugularis; rechter Vorhof, rechter Ventrikel, Lungengefäße,

linker Vorhof, linker Ventrikel. Außerdem besteht noch der Koronarkreislauf."

„Aus der obigen Beschreibung ersieht man, was ich eigens hervorheben möchte, daß die venösen Gefäße nicht abgebunden werden. Das Blut wird bei der Ausführung der Methode zum größten Teil aus den Arterien in die Venen übergeführt und durch die in denselben befindlichen Klappen am Rückfließen behindert."

„Ferner wird bei dieser Methode dadurch, daß alle das Blut vom Herzen abführenden Arterien unterbunden sind, die Funktion des zentralen Nervensystems total ausgeschaltet."

„Die zwei genannten Umstände, das Offenbleiben der Venen und die totale Lähmung des zentralen Nervensystems, ermöglichen auch eine Reihe von Versuchen, die sich auf das Verhalten der vom zentralen Nervensystem isolierten Gefäße bezieht, worauf ich weiter unten zurückkomme."

„Bei der Abbindung der arteriellen Gefäße kommt es darauf an, zu vermeiden, daß die Blutdrucksteigerung eine zu große wird; dies kann man auf verschiedene Weise erreichen. In der Mehrzahl der Fälle ging ich folgendermaßen vor: Es wird, nachdem die U-Kanüle eingebunden ist, die Aorta (peripher oder zentral von der linken Subclavia) für eine Viertelstunde abgeklemmt. Wird dann die Aorta geöffnet, und nun die Arteria subclavia dextra et sinistra abgebunden, so ist die Blutdrucksteigerung bedeutend geringer, als wenn man die Aorta vorher nicht für einige Zeit abgeklemmt hat. Sobald nun das Vasomotorenzentrum in der Medulla oblongata gelähmt ist und der Blutdruck anfängt zu sinken, wird die Aorta wieder abgeklemmt bezw. abgebunden."

„Außer diesem Mittel, die Blutdrucksteigerung zu vermindern, habe ich mich noch verschiedener anderer Verfahren bedient, so der Entnahme einer gewissen Blutmenge vor der Abbindung der Arterien oder der Abklemmung der Vena portae oder der Vena cava inferior. Je nach dem Zweck, den man zu verfolgen gedenkt, kann man natürlich auch noch andere Mittel benutzen zur Herabsetzung der Blutdrucksteigerung, so die Durchschneidung der Medulla oblongata, der beiden Splanchnici usw."

„Außer bei Kaninchen habe ich die Methode auch an einer Katze und an einem Hunde ausprobiert; sie ist bei diesen Tieren auch durchführbar, aber nicht so einfach wie beim Kaninchen, da die großen Gefäße verhältnismäßig tief im Thorax liegen, weshalb die Eröffnung des Thorax erforderlich ist, was beim Kaninchen nicht notwendig ist, wenn man nicht das Herz zu bestimmten Versuchen freilegen will."

„Während der Herzschlag bei Abklemmung der Aorta, wie bekannt (Knoll, Heidenhain), Unregelmäßigkeiten zeigt, wird er nach Herstellung des künstlichen Kreislaufes und der dabei erfolgenden Abtötung des zentralen Nervensystems gewöhnlich auffallend regelmäßig."

f) Methoden von Bock (1898), ferner von Hédon und Arrous (1899).

Nach Bock wird das Blut der Tiere (Kaninchen von ca. 2.5 kg) durch Blutegelextrakt (s. Teil III) ungerinnbar gemacht. Weiter unterscheidet sich die Methode von derjenigen von Tschistowitsch dadurch, daß der kleine Kreislauf erhalten bleibt, also alle Operationen an ihm wegfallen, daß die

Venen nicht unterbunden werden und, daß für das Ausströmen des Blutes aus dem Herzen statt der Art. subclavia die eine Carotis benutzt wird. Die Carotis wird mit einem Widerstandsapparat (s. Fig. 14 [1 u. 2]) verbunden, d. h. mit einer an einer Stelle durch eine Quetschklemme mehr oder weniger zu verschließenden Röhre, an die seitlich ein langer, dünnwandiger Kautschukschlauch (i) angeschlossen ist. Die letztere Vorrichtung hält Bock für sehr wichtig, indem er dadurch den Verhältnissen des lebendigen Organismus weit näher kommt als bei den Methoden Martins und Tschistowitsch'.

Zur Messung des nur wenige Zentimeter Wasser betragenden ziemlich konstanten Venendrucks dient ein Wassermanometer (l), das an ein kleines mit verdünntem Blutegelextrakt gefülltes Kugelreservoir angeschlossen ist. (Mit diesem Verfahren können die Schwankungen des Venendruckes vor allem wegen der Einschaltung des Kugelreservoirs nicht genau bestimmt

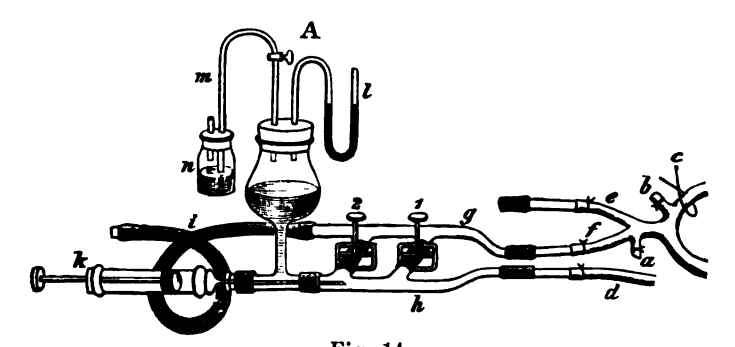


Fig. 14.
Anordnung nach Bock; f Carotis, d Jugularis.

werden.) Die Unterbindung der Venen kann unterbleiben, teilweise weil sie mit Klappen versehen sind, oder auch weil der Druck in dem venösen Abschnitt des Apparates so geregelt war, daß das Blut in die Abdominalorgane, wie auch die Sektion ergab, nicht abfloß. „Gewöhnlich arbeitete das Herz entweder von Anfang an regelmäßig oder seine Tätigkeit wird schon nach Verlauf einer kürzeren Zeit (5—10 Minuten) eine befriedigende. In anderen Fällen war die Herzaktion längere Zeit unregelmäßig. Sie konnte unter bedeutendem Sinken des Blutdrucks regelmäßig gestaltet und in den meisten Fällen, so auch bei nachherigem Wiederansteigen des Blutdrucks nach unterbrochener Chloroforminhalation, erhalten bleiben“ (S. 164). Daß der Koronarkreislauf nur einen kleinen, bei der Messung und der Wirkung auf den Blutdruck nicht zu berücksichtigenden Teil des übrigen Kreislaufs ausmacht, berechnet Bock aus den Versuchen von Bohr und Henriques (1895).

Auf richtige Stellung der Venenkanüle ist sehr zu achten (S. 164).

Nach einiger Zeit verliert das Zentralnervensystem völlig seinen Einfluß auf das Herz. Ca. 20—30 Minuten nach Beendigung der Operation bringt das Abschneiden des Kopfes und die Zerstörung des Rückenmarks keine Veränderung des Blutdrucks oder der Pulsfrequenz hervor: „Das Herz ver-

hält sich wie das Froschherz in Williams' Apparat, seine Bewegungen sind nur von dem Zustand der Herzmuskulatur und von den nervösen Elementen des Herzens selbst abhängig."

Bei den Versuchen war das linke Herz stets hinlänglich vom rechten Herzen mit Blut versorgt (S. 168). Es zeigte sich bestätigt (Lichtheim 1876 und Openchowski 1882), daß Eingriffe, die durch Änderungen der Widerstandsverhältnisse im Gefäßsystem des großen Kreislaufs bedeutenden Einfluß auf die Funktion des linken Herzens üben, auf die Lungengefäße und die Funktion des rechten Herzens nur geringe oder gar keine Wirkung haben.

Die absolute Kraft wurde dadurch bestimmt, daß der Hauptausfluß für das Blut, die Carotis, verschlossen wurde.

Das Gift, dessen Wirkungen Bock untersuchte, wurde entweder direkt (s. Fig. 14, h) in das Blut eingespritzt, oder wenn es sich um flüchtige Stoffe handelte, mit der Respirationsluft eingeatmet (S. 168).

Ob sich die Anordnung von Bock in bezug auf die Widerstandsverhältnisse in dem arteriellen System von dem Apparat von Tschistowitsch und Martin wesentlich unterscheidet, erscheint doch fraglich, da in beiden Fällen die Druckschwankungen, die wegen der Strömung sicher vorhanden sind, durch das Quecksilbermanometer nicht festgestellt werden konnten.

Auch Bock bemerkt, wie alle übrigen Forscher seit Martin, daß das Blut nach längerer Strömung durch diesen vereinfachten Lungenherzkreislauf seine Gerinnungsfähigkeit einbüßt (Stolnikow 1886 und besonders Pawlow 1887 S. 459).

Bock hat das Bedürfnis gefühlt, seine Methode zu verbessern. Er suchte durch den neuen Apparat (s. Fig. 15), den er 1908 beschrieben hat, vor allen Dingen den Venendruck konstant zu erhalten. Ferner sollte das Schlagvolumen bezw. Sekundenvolumen und damit der zweite Faktor der Herzarbeit bestimmt werden. Außerdem sollte die in dem Apparat zirkulierende Blutmenge bestimmbar sein, damit jederzeit die Konzentration eines eingespritzten Stoffes festgestellt werden konnte. Weiter sollte die Temperatur des Blutes konstant erhalten und gemessen werden können. Die Absicht, die aus dem Herzen ausströmende Blutmenge zu messen, wird dadurch erreicht, daß durch eine Spritze (B), die von einem Motor bewegt wird, jedesmal dann aus dem Reservoir, in welches das Blut einfließt, Blut entnommen wird, wenn eine bestimmte Menge (15 ccm) hineingeflossen ist. Zu dem Zweck steht das kleine Reservoir auf einer Wage (A), die umkippt, wenn die in das Reservoir hineingeflossene Menge 15 ccm beträgt. Durch die Bewegungen des Wagebalkens wird ein Kontakt (e) geöffnet und geschlossen, der in den Stromkreis des Motors eingeschaltet ist. Eine ingeniös erdachte weitere Vorrichtung bewirkt es, daß der Motor, wenn er durch das Schließen des Kontakts in Bewegung gesetzt wurde, jedesmal gerade eine volle Umdrehung ausführt. Während dieser Umdrehung macht der Spritzenkolben, der durch einen Exzenter mit dem Motor in Verbindung steht, eine hin- und hergehende Bewegung von derselben Exkursion, d. h. bei der Saugbewegung werden genau 15 ccm aus dem Reservoir aufgesaugt und bei der nachher folgenden Druckbewegung in das venöse System übergetrieben. Daß diese Bewegung nur in einsinniger Richtung erfolgt, bewirken zwei Glasventile, die mit der Spritze in Verbindung stehen.

Der venöse Druck wird durch eine ähnliche, automatisch funktionierende, von einem Motor betriebene Vorrichtung konstant erhalten. Die Auslösung der Bewegung des Motors geschieht durch die Bewegungen eines Schwimmers, der in das venöse Reservoir taucht.

Von den technischen Bemerkungen, die Bock über den Gebrauch des

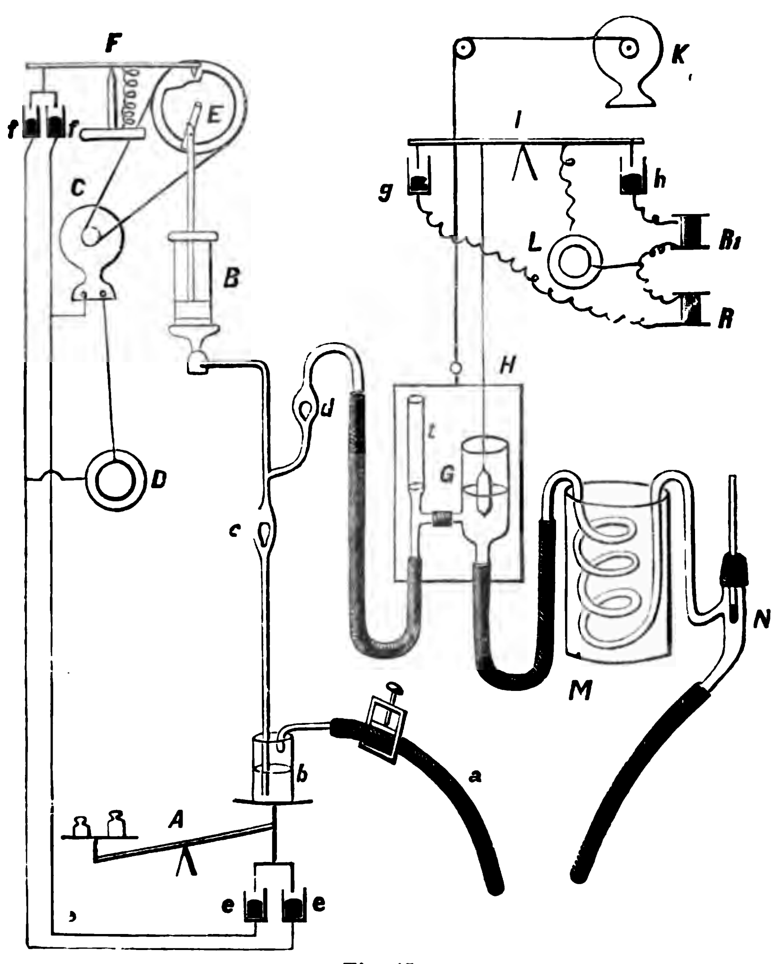


Fig. 15.
Neuer Apparat von Bock. a Carotis. N Jugularis.

Apparates macht, erscheinen mir folgende beachtenswert: Zum Füllen des ganzen Apparates sind 70—80 ccm 0,9 % Chlornatriumlösung erforderlich. Bevor man die Aorta unterbindet, läßt man das Blut des Tieres eine kurze Zeit durch den Apparat zirkulieren. „Um zu vermeiden, daß während des Versuches nach und nach Blut durch die Venen verschwinden sollte, unterband ich gewöhnlich einige Zeit nach erfolgter Unterbindung der Aorta die Vena cava oberhalb der Leber wie auch die V. jugularis und die V. subclavia an

der nicht benutzten Seite. Bei wohlgelungenen Versuchen arbeitet das Herz äußerst regelmäßig."

Um die ganze Menge des im Apparat und im Tier zirkulierenden Blutes zu bestimmen, wird zunächst in einer Probe der Hämoglobingehalt kolorimetrisch festgestellt. Darauf läßt man eine bestimmte Menge Chlornatriumlösung in den Apparat einfließen und bestimmt, nachdem sie sich mit dem Blut gemischt hat, wieder den Hämoglobingehalt des zirkulierenden Blutes.

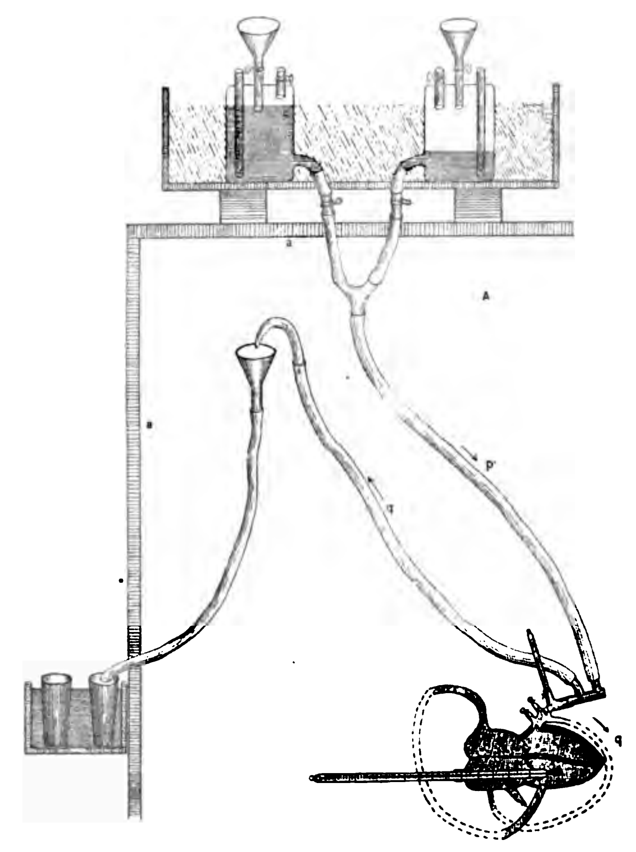


Fig. 16.
Isoliertes Herz nach Martin. Beschreibung Abschnitt C. a.

Die Temperatur des Blutes wird durch eine Rohrspirale, die in ein Wasserbad taucht, konstant erhalten.

So ingeniös auch die Methode erdacht ist und so notwendig sich die Verbesserungen erweisen, so erscheinen sie mir doch durch einfache Hilfsmittel zu erreichen zu sein. Der venöse Druck läßt sich konstant erhalten dadurch, daß man das Blut aus einem entsprechend weiten Reservoir ausfließen läßt. In dieses Reservoir strömt es unmittelbar aus der Arterie ein. Der Schlauch, der mit der Arterie in Verbindung steht, ist durch einen Quetschhahn verschließbar, wodurch ein regulierbarer Widerstand einge-

schaltet wird. Die Menge des aus dem Herzen ausfließenden Blutes wird entweder durch eine Stromuhr oder in der Weise, wie ich das früher für das Kaltblüterherz beschrieben habe, bestimmt, daß man zeitweilig das arterielle Rohr mit einem Pistonrekorder in Verbindung setzt oder auch durch Anwendung des Prinzips der Pitotschen Röhrchen. Die gesamte zirkulierende Blutmenge des Apparates und des Tieres wird am besten in derselben Weise bestimmt werden, wie dies von Bock beschrieben ist. Vielleicht erscheint dies aber nicht einmal notwendig, denn die Menge des im Tierpräparat zirkulierenden Blutes kann jedenfalls auf einen Bruchteil der Gesamtmenge des Blutes gehalten werden. Es genügt also eine annähernde Schätzung der Blutmenge des Präparates, um über die Konzentration von Stoffen, die in das Blut eingeführt werden, ins klare zu kommen. Geeignete Manometer hätten die Druckmessung zu besorgen. Das ganze Präparat kann ebenso, wie dies von Martin geschehen ist, in einen Wärmekasten versenkt werden. Das Verfahren ähnelt dann überhaupt wieder mehr dem von Martin und Tschistowitsch angewandten.

Hédon und Arrous (1899) haben einen vereinfachten Herz-Lungenkreislauf gebildet. Nach Unterbindung der Venen- und Arterienstämme fließt das Blut nur noch in folgenden Gebieten: Linker Ventrikel, Koronararterien, Herzmuskel, Koronarvenen, rechter Vorhof, rechter Ventrikel, Lungenkapillaren, Lungenvene, linker Vorhof. Bei Kaninchen erhielten sie befriedigende Resultate.

Die sämtlichen Apparate, die zur Herstellung eines beschränkten Herz-Lungenkreislaufs gedient haben, sind nur vereinzelt gebraucht und noch nicht kritisch geprüft worden.

C. Das vollständig isolierte Warmblüterherz.

Geschichtliches s. oben S. 144. Vergl. auch die Methode von Tschistowitsch S. 149.

a) Methode von Martin und Applegarth (1890 S. 275 s. Fig. 16):

„Alle Zweige der Aorta mit Ausnahme der Koronararterien sind unterbunden. Die Venae cavae sind auch unterbunden. In die Aorta selbst ist eine Kanüle eingesetzt, die mit einer in passender Höhe befindlichen Mariotteschen Flasche verbunden ist. Das defibrinierte Blut von der Flasche füllte die Verbindungsröhren, die Aorta und die Koronararterien bei einem konstanten Druck, der natürlicherweise von der Stärke und der Häufigkeit des Herzschlags unabhängig ist. Das Blut gelangt durch den Koronarkreislauf zu dem rechten Vorhof, weiter zu dem rechten Ventrikel und von da durch die Lungen zu dem linken Vorhof. Dieses Blut ist daher das einzige, das in die Herzhöhlen und durch die Lungen gelangt. Daß die Herzhöhlen nicht durch eine größere Blutmenge ausgedehnt sind, scheint den normalen Charakter des Herzschlags nicht aufzuheben, der rhythmisch und kräftig drei oder vier Stunden lang andauert."

b) Methode Langendorffs.

Langendorff hat seine Methode 1895 und 1897 ausführlich beschrieben. Ich entnehme diesen Abhandlungen die historisch und methodisch bedeutsamen Stellen.

(1897 S. 356): „Erwägungen dieser Art haben Martin veranlaßt, seine Methode zu modifizieren. Die Versuche, über die er in der zweiten von ihm und seinem Schüler Applegarth mitgeteilten Abhandlung berichtet, sind nach dem neuen Verfahren angestellt. Dasselbe hat Ähnlichkeit mit dem von mir benutzten. Als ich meine erste Mitteilung veröffentlichte, war mir die schon im Jahre 1890 publizierte Arbeit von Martin und Applegarth noch unbekannt."

(1895, S. 294): „Schon die erste Beobachtung lehrte, daß es auf diese Weise gelingt, das anscheinend tote, nicht mehr spontan schlagende und gar nicht oder nur noch schwach erregbare Herz durch Zuführung von arteriellem Blut wieder zu energischem und frequentem Schlagen zu bringen. Man kann sagen, daß es immer glückt, solange das Herz noch nicht starr geworden ist."

„Die Vorbereitungen zur Durchspülung sind folgende. Das Herz des mit Chloroform nicht allzu tief betäubten, dann aus den Karotiden verbluteten Tieres wird ohne jede Eile freigelegt. Man wartet damit, bis auch die letzten Atembewegungen erloschen sind, weil sonst bei der leicht vorkommenden Verletzung größerer Venen Luft ins Herz und die Herzgefäße eindringen kann."

„Dann isoliert man den Anfangsteil der Aorta und legt um ihn eine starke Fadenschlinge, mit der man den unteren Teil der oben geschilderten Herzkanüle einbindet. Von dieser aus wird die Aorta mit 0,7 %iger Kochsalzlösung ausgewaschen; die Auswaschung setzt man eine Zeitlang fort, während man die im linken Herzen verbliebenen Blutreste durch sanftes Kneten der Kammer möglichst in die Aorta hineinpreßt. Je besser die Ausspülung gelingt, desto weniger sind spätere Gerinnungen zu befürchten: doch achtet man darauf, daß nicht zuviel Salzlösung ins Herz gelange. Dann wird das Herz ausgeschnitten, die Kanüle nochmals bis zum Rande mit Salzwasser gefüllt und unter sorgfältigster Vermeidung auch des kleinsten Luftbläschens mit dem Apparat in Verbindung gesetzt. Der Leitungsschlauch und das obere Kanülenstück sind inzwischen mit dem aus den Karotiden gewonnenen, durch Schlagen defibrinierten, filtrierten und in der Blutflasche erwärmten Blute luftfrei gefüllt worden. Es ist zweckmäßig, sofort nach dem Einschrauben der mit dem Herzen verbundenen Kanüle Druck zu geben und dabei den Dreiweghahn der Kanüle so zu stellen, daß der Leitungsschlauch sowohl mit der Aorta als auch durch den zunächst vom Stöpsel befreiten Ast g mit der Luft kommuniziert. So sichert man sich am besten vor Luftembolien. Das Herz darf während dieser Manipulationen nicht gedrückt werden, und es ist gut, so lange mit seiner Anbringung am Apparat zu warten, bis es gar keine oder wenigstens keine energischen Kontraktionen mehr macht."

Beschreibung des Langendorffschen Apparates mit den Abbildungen Fig. 17a und b (1897, S. 358—360):

Von der mit der Wasserleitung und dem elektromagnetischen Regulationshahn (komplizierte Druckregulierung, beschrieben Langendorff 1895 S. 297) in Verbindung stehenden, in der vorliegenden Abbildung fortgelassenen großen Druckflasche steht das Doppelflaschensystem A, A' durch den Zuleitungsschlauch l in Verbindung. Eine Zweigleitung enthält das Kon-

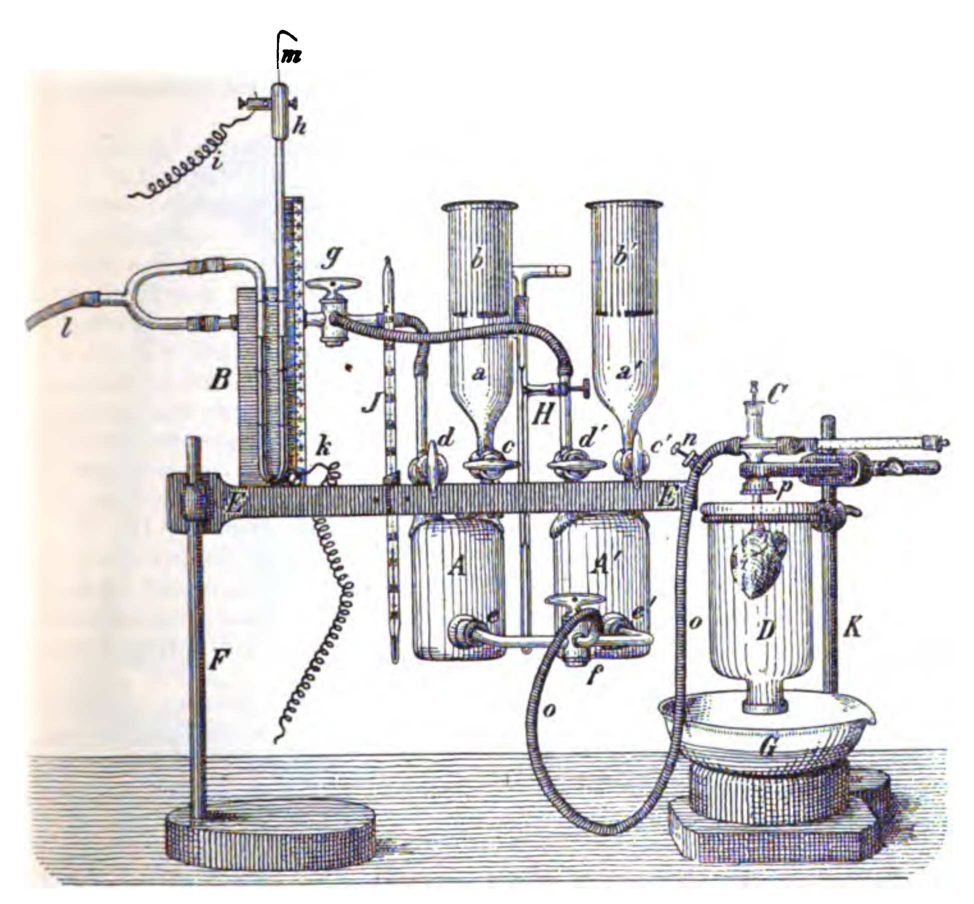


Fig. 17 a.
Isoliertes Herz nach Langendorff. Gesamt-Anordnung.

taktmanometer B; h ist ein metallener Aufsatz auf dessen freiem Schenkel; er ist durch i mit der Stromquelle, durch den steifen Platindraht m mit der Quecksilberoberfläche in Verbindung. Der Draht k führt zu einer Klemmschraube, die andererseits einem in die Manometerröhre eingeschmolzenen Platindraht zum Ursprung dient.

Der Zweighahn g verbindet je nach Bedürfnis den einen der beiden Blutrezipienten (A oder A') mit der Druckflasche. Jeder dieser Rezipienten besitzt drei Tubulaturen, zwei obere und eine untere; d und d' sind sogenannte Senguerdsche Hähne, wie sie vielfach an Luftpumpen in Gebrauch

sind. Ihre Bohrungen, deren eine gerade, deren andere knieförmig ist, gestatten, die Blutflasche je nach Belieben mit dem Druckgefäß oder mit der atmosphärischen Luft zu verbinden oder gegen beide abzuschließen. Sie machen es möglich, den einen Rezipienten zu füllen, während der andere zur Speisung des Herzens benutzt wird, ohne daß dabei oder bei dem späteren Wechsel der Flaschen eine merkliche Druckschwankung entsteht. Diese Hähne haben sich als sehr wertvolle Verbesserungen erwiesen gegenüber dem älteren Verfahren, wo bei Benutzung der Doppelflaschen zu den gleichen Zwecken ein weit komplizierteres Hahnsystem zur Anwendung gekommen war.

a und a' sind mit Hähnen versehene, bis zum Flaschenboden reichende Fülltrichter; in ihre obere Öffnung sind die Blechzylinder b und b' eingehängt, die oben offen, unten mit einem feinen Roßhaargeflecht geschlossen sind. Diese Trichter dienen zur Füllung der Blutflaschen, das Roßhaarsieb hält etwaige Gerinnsel mit Sicherheit zurück. Durch die unteren Tubulaturen e und e' kommunizieren die beiden Flaschen mit dem T-Hahn f, dieser ist durch einen kurzen Schlauch mit der gleich zu beschreibenden „Anschlußkanüle" C in Verbindung. Die Bohrungen e und e' sind sehr nahe dem Boden des Gefäßes angebracht und die sie durchsetzenden Schenkel des T-Rohres f sind an ihren Enden so nach unten abgebogen, daß der Inhalt jeder Blutflasche sich durch sie bis auf ganz geringe Reste entleeren läßt.

Die beiden Flaschen sind mit ihren Hälsen in einem horizontalen hölzernen Arme EE festgeklemmt, der auf dem Stativ F verstellbar ist. Der Arm trägt außerdem das Thermometer J und den Gasregulator H. Die in ihm befestigten Teile werden in eine in der Abbildung fortgelassene, mit kaltem oder warmem Wasser zu füllende Wanne so eingesenkt, daß die Flaschen A und A' über deren Boden schweben und der zur Anschlußkanüle führende, mit der Schraubklemme n versehene Schlauch (oo) fast vollständig von Wasser umgeben ist.

Der Rezipient für das Herz ist von der Wanne getrennt, nicht wie früher in sie eingelassen. Es besteht aus einer gläsernen, an ihrer Wölbung mit einem kurzen, weiten Tubulus versehenen Glocke D, die in einem vom Stativ K getragenen Ringe hängt. In manchen Fällen umgab diese Glocke ein beträchtlich weiteres Glasgefäß. Zwischen beide konnte dann kaltes oder warmes Wasser oder Eis eingefüllt werden. Die Schale G dient zum Auffangen des aus dem rechten Vorhof des Herzens abfließenden Koronargefäßblutes.

1895 S. 303: Der Druck, unter dem das Blut einströmt, bemißt sich nach der wahrscheinlichen Höhe des mittleren arteriellen Blutdrucks des benutzten Tieres. Beim Kaninchenherzen genügen schon 60—80 mm Quecksilber, für das Herz der Katze 90—110 mm Hg, für das des Hundes 100 bis 120 mm Hg.

Die Bewegungen des Herzens können mit dem Suspensionshebel unmittelbar aufgeschrieben werden. Gewöhnlich wurde jedoch die (lineare Frank) Lufttransmission benutzt, mit einer eigentümlichen Aufnahmekapsel (s. Fig. 17b, beschrieben 1895, S. 299, 300).

Die Methode Langendorffs wurde von Langendorff in einer Reihe von Untersuchungen, die er in den Jahren 1895 bis 1907 ausführte, außer-

dem von seinen Schülern Nawrocki 1897, Rusch 1898, Maaß 1899, Strecker 1900, Schirrmacher 1901, Schlüter 1901—1902, Hueck 1903 und Lehmann 1906 angewandt. Besonders sei auf die Arbeit von Schirrmacher hingewiesen, in welcher der Apparat speziell für die Konstanterhaltung des Drucks und der Temperatur eingerichtet wurde.

Auch das Herzohr von Kaninchen und Katzen ist von Langendorff, künstlich gespeist, lange Zeit am Leben erhalten worden (1906). Das Herz-

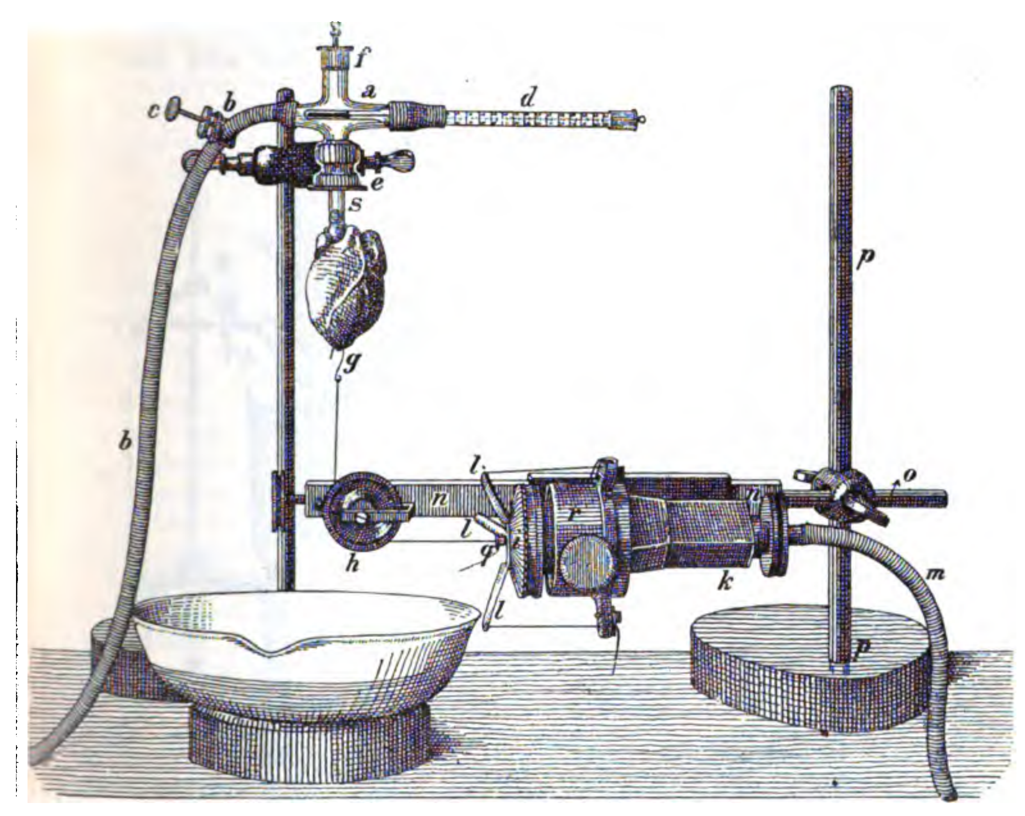


Fig. 17 b.
Verbindung des Herzens mit dem Registrierapparat.

ohr wurde mit der Schnittöffnung in eine doppelläufige Glaskanüle eingebunden und mit durch Ringerlösung verdünntem Blut (meist im Verhältnis 1:1) durchspült. An der Spitze des Ohrs wird ein Faden durch eine kleinste Engelmannsche Klemme befestigt, um eine Rolle unterhalb des Herzohrs geführt und mit einem Schreibhebel verbunden. Das Präparat taucht in ein Gefäß, das mit warmer, mit Sauerstoff durchlüfteter Ringerlösung angefüllt ist.

c) Modifikationen des Martin-Langendorffschen Verfahrens.

Der Apparat von Langendorff ist von einer großen Reihe von Beobachtern angewandt worden (z. B. von Braun und Mayer 1899). Einige

haben das Bedürfnis empfunden, ihn nach verschiedenen Richtungen zu verbessern und zu vereinfachen.

Porter (1897 u. 1898) hat nach vielen Versuchen, die er unabhängig von Langendorff begann, eine Methode ausgearbeitet, mit der es möglich ist, selbst einzelne Teile der Herzkammermuskulatur, so diejenigen der Spitze längere Zeit am Schlagen zu erhalten. Die Hunde werden von der linken Carotis aus verblutet, das Blut wird defibriniert und durch Glaswolle filtriert. Unterdessen läßt man warme 0,8 % Chlornatriumlösung in die rechte Jugularvene einfließen. Nach einer kurzen Zeit wird das Tier

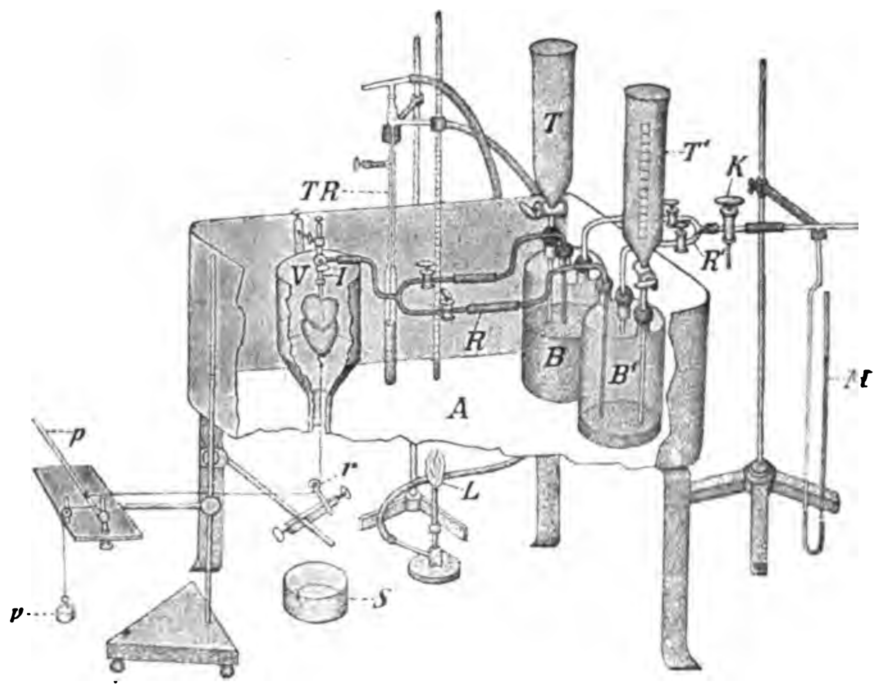


Fig. 18 a.
Isoliertes Herz nach Hedbom. Gesamtanordnung. Beschreibung S. 161.

wiederum von der Carotis aus verblutet und das Blut wie vorher defibriniert. Das Herz wird nun rasch ausgeschnitten und in einen Becher mit warmer Kochsalzlösung gebracht. So reinigt sich das Organ selbst von dem Blut. Eine Kanüle wird in den Zweig der Koronararterie, die das betreffende Herzstück versorgt, eingebunden. Die Kanüle wird dann mit einem passenden Blutreservoir verbunden und das Herz in einer durchsichtigen Kammer aufgehängt. Das Ganze wird in ein großes Wasserbad versenkt. Porter fand bei diesen Versuchen, daß sehr wenige Flüssigkeit (s. d. Arbeit von Magrath und Kennedy 1897) zur Ernährung genügt und daß das Herz durch die Koronararterien und durch die Venen von Thebesius ernährt werden kann. (S. die Arbeit von Pratt 1898.) Er fand weiter, daß das Herz sehr kräftig schlägt, wenn es von Blutserum durch-

strömt wird und wenn es in eine Atmosphäre von hohem Sauerstoffdruck gebracht wird.

(Über die Prioritätsansprüche Lockes Porter gegenüber s. das folgende Kapitel.)

Das Portersche Präparat oder ein ihm ähnliches ist von Woodworth 1902), Waroux (1900), Weekers (1906) u. a. angewendet worden.

Hedbom (1898) benutzte die Methode von Langendorff (1895) mit einigen Modifikationen und Vereinfachungen. Statt der komplizierten Apparate, die nach Langendorff den Druck in dem Blutreservoir konstant erhalten sollen, benutzte er eine gewöhnliche Wasserluftpumpe. Es genügt im übrigen wohl, auf die nebenstehenden Abbildungen zu verweisen. Besonders bemerkenswert ist, daß der ganze Apparat in dem großen Wasserbad A (s. Fig. 18a) steht. Ferner mache ich auf die Injektionskanüle J in Fig. 18 a, die in Fig. 18 b nochmals abgebildet ist, aufmerksam. Sie erlaubt eine direkte Injektion der Substanzen in die Aortenkanülen b und c durch die Öffnung p, während im allgemeinen die Speisung aus den Gefäßen B und B′ erfolgt. Die Präparationsmethode ist auf S. 154 beschrieben. Als Versuchstiere dienten Katzen und Kaninchen. Die Erstgenannten wurden mit Chloroform betäubt. Eine Kanüle wurde in die Carotis eingebunden und die Tiere schnell verblutet.

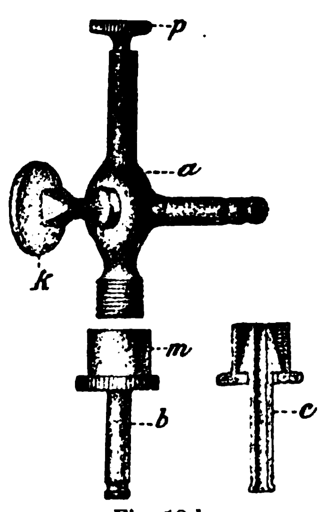


Fig. 18 b.
Injektionskanüle zu 18 a.

Sobald das verblutete Tier zu atmen aufgehört hatte, wurde rasch der Brustkasten und das Perikard geöffnet sowie das Herz ausgeschnitten, wobei die Aorta in der Nähe des Ursprungs der großen Halsgefäße durchgetrennt wurde. Die Kanüle wurde nachher in die Aorta so eingebunden, daß ihr freies unteres Ende sich ein kleines Stück oberhalb der Aortenklappen befand. Das Herz blieb bei diesen Manipulationen noch in der Brusthöhle liegen, und hatte meistens zu schlagen aufgehört. Eine gründliche Ausspülung wurde bald aufgegeben, da die Erfahrung gemacht wurde, daß das Herz unter diesem Eingriff litt. Statt dessen wurde vor dem Einbinden der Kanüle mit einer Glaspipette sehr vorsichtig eine geringe Menge physiologische Kochsalzlösung eingeführt, mit einer feinen Pinzette kleine Coagula von den Klappen und Koronarmündungen entfernt und die Herzkammern ganz leicht gedrückt (massiert), um Blut und Coagula aus ihren Kavitäten auszutreiben. Nicht immer gelang es, das Herz von Koageln zu befreien; in der Regel aber wurden sie entfernt oder sie störten den Gang des Versuches nicht. Nach jedem Versuche wurde das Herz aufgeschnitten und der Zustand der Koronarmündungen, der Klappen und der Herzkammern — besonders in bezug auf Koageln — genau untersucht. — Die beschriebene „Herztoilette“ durfte natürlich nur ein paar Minuten in Anspruch nehmen. Nachdem die Kanüle eingebunden war, wurde der rechte Vorhof aufgeschnitten, damit das Blut unbehindert herausströmen möchte.

Gottlieb und Magnus (1901) erstrebten vor allen Dingen die Temperatur der Durchströmungsflüssigkeit bezw. diejenige des Herzens konstant zu halten und weiter durch besondere Vorrichtungen jede Änderung des Durchleitungsdrucks auszuschließen. Ich gebe die Beschreibung ihrer Apparate mit ihren eigenen Worten:

„Die Konstanz der Temperatur erreichten wir durch Einrichtungen, die sich im wesentlichen an eine neuere Anordnung Langendorffs anschließen, wie sie von Schirrmacher beschrieben worden ist. Der schmale Luftraum unseres Durchblutungsapparats, in welchem das Herz schlägt, ist derart in ein Wasserbad eingebaut, daß er von drei Seiten von auf Körpertemperatur erwärmtem Wasser umgeben ist. Nach vorne zu ist der Luftraum durch eine entfernbare Glasplatte abgeschlossen, hinter der man das Herz schlagen sieht. Der Boden des Luftraumes besitzt eine Öffnung für den Abfluß des aus dem rechten Vorhof ausfließenden Blutes. Das Wasserbad enthält die zwei Glasgefäße für das normale und das gifthaltige Blut und wird durch eine Gasflamme erwärmt, die Temperatur mit Hilfe eines Thermoregulators konstant gehalten. Der Luftraum, welcher auch oben abgeschlossen ist, wird durch das Wasserbad erwärmt, überdies befindet sich aber auch in ihm ein Thermoregulator, der mit einer kleinen Flamme unterhalb des Luftraums in Verbindung steht. Auf diese Weise wird erreicht, daß das Herz während des ganzen Versuches sich in vollständig konstanter Außentemperatur befindet, und daß das Blut, wenn es in das Herz einströmt, wirklich immer genau dieselbe Temperatur hat. Die größten beobachteten Schwankungen der Bluttemperatur während eines einstündigen Versuches betrugen dann auch höchstens einige Zehntelgrade.“ (Bei dem älteren Langendorffschen Apparat treten sehr störende Temperaturdifferenzen auf.)

Die Konstanz des Durchblutungsdrucks wurde dadurch erreicht, daß über dem Blut in dem Reservoir (die durch Verblutung der Katze vor und nach der Infusion von 0,9 % Kochsalzlösung aus dem Tier gewonnene und defibrinierte Blutmenge, die mit Kochsalzlösung auf 500 ccm aufgefüllt wurde, S. 37) eine Röhre ausmündete, die mit dem Reduktionsventil einer Sauerstoffbombe verbunden war. In den späteren Versuchen wurde zur absoluten Konstanterhaltung des Drucks zwischen dem Reduktionsventil noch ein Quecksilberventil eingeschaltet. Während des ganzen Versuchs perlte langsam Sauerstoff nach außen und die Durchblutung fand unter dem Druck des Quecksilberventils statt; der Durchblutungsdruck war vollständig konstant. Unter diesen Bedingungen schlugen die Herzen mit außerordentlicher Regelmäßigkeit. Entweder blieb die Kontraktionsgröße und die Frequenz der Herzschläge völlig unverändert, oder die Pulshöhe nahm im Laufe des Versuches ganz allmählich ab. Die langsame Abnahme beruht auf einer allmählichen Verringerung der Durchblutung, die infolge einer langsamen Gefäßkontraktion im durchströmten Herzen wie in vielen anderen Organen eintritt. (Vergl. die Erfahrungen der Ludwigschen Schule, besonders siehe Brodie 1903.)

Zur Registrierung der Herzbewegung bedienten sich Gottlieb und Magnus nicht der Suspensionsmethode, sondern sie führten durch einen Schnitt im linken Herzohr bezw. im linken Vorhof Katheter ein, an die

Gummiballons von der Art, wie sie Chauveau und Marey verwendeten, angebunden waren. Beim Einführen des Ballons gerät das Herz manchmal in Flimmern, meist sind solche Herzen für den Versuch verloren. Die Verbindung der Herzkanülen mit dem registrierenden Apparat geschah durch Bleirohr. Der Ballon wurde durch eine Spritze (Radfahrerpumpe) unter verschiedenen Druck gesetzt. Je nachdem das Herz isometrisch oder isotonisch tätig sein sollte, verbanden Gottlieb und Magnus die Ballons bald mit Mareyschen Tambours, bald mit Hürthleschen Tonographen oder den Bellows Rekorder von Brodie.

Siewert (1904 nach Referat in Hermanns Jahresbericht) findet es bei Langendorffs Methode unvorteilhaft, daß das Herz dabei leer bleibt und der Innendruck wegfällt, und gestaltet daher das Verfahren so um, daß die Herztätigkeit manometrisch registriert werden kann. Zu diesem Zwecke wird (über einige nicht zum Ziele führende Versuchsweisen. s. d. Orig.) die Lockesche Flüssigkeit (s. das folgende Kapitel) durch die Cava inf., unter Zwischenschaltung eines Ventils, in den rechten Vorhof eingeleitet und fließt aus der Lungenarterie unter seitlicher Kommunikation mit dem Manometer ab. Es wird also nur die Tätigkeit der rechten Kammer registriert. (Hinsichtlich des Durchtritts durch die Kranzgefäße scheint Verf. auf den Prattschen Weg zu rechnen, obwohl er dessen Verfahren verwirft, oder er hält den Durchtritt für unnötig.)

Brodie und Cullis (1908) haben eine Konstruktion angegeben, die eine nähere Beschreibung verdient. Es sollte bei diesem Apparat (s. Fig. 19) vor allen Dingen die Temperatur des Herzens so konstant als möglich erhalten werden, außerdem sollte der Apparat ein so geringes Volumen haben, daß bei dem Wechsel der Speiselösungen nur eine kurze Zeit vergeht, bis die neue Lösung das Herz in seiner richtigen Konzentration erreicht. Bei einer langsamen Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit bleibt die Temperatur der Flüssigkeit konstant. Bei einer raschen Änderung der Geschwindigkeit verändert sie sich bis zu 3 Grad Celsius. Solche Temperaturveränderungen sind von großem Einfluß, deshalb ist der Apparat so eingerichtet, daß die Temperatur der Flüssigkeit unmittelbar vor dem Einströmen in die Kranzarterien bestimmt wird. Ferner befindet sich das Herz in einer feuchten Kammer, deren Temperatur etwa dieselbe ist, wie diejenige der Flüssigkeit, so daß das Herz sich durch die Verdunstungskälte nicht abkühlen kann. Das Herz wird in einer Kammer A aufgehängt an einem besonders gestalteten Röhrensystem B (s. Fig. 19b). Beide sind in einem weiteren Gefäß C eingeschlossen, durch das ein Strom von körperwarmem Wasser hindurchfließt. Die Kammer A ist durch einen Glasschliff D mit dem Gefäß C verbunden. Die obere Öffnung von C ist durch ein Kautschukrohr geschlossen, durch welches das Rohr B leicht hindurchgleitet. Diese Bewegung wird durch eine Glashandhabe F ermöglicht. An dem unteren Ende von B ist die Herzkanüle T durch einen Schliff angeschlossen. Das obere Ende von B ist durch einen Schliff mit einer doppelt tubulierten Kugel W verbunden, die wiederum mit den Flüssigkeitsreservoirs durch Schläuche in Verbindung stehen. Das untere Ende der Röhre B ist fast durch ein Thermometer L ausgefüllt. Das obere Ende ist vollständig durch ein an beiden Enden geschlossenes Röhrenstück aus-

gefüllt, so daß die Flüssigkeit in dünner Schicht die Röhre hinunterfließt und so eine große Oberfläche für den Temperaturausgleich bietet. Außerdem ist die Kapazität der Röhre B durch diese Einlagen auf ein Minimum reduziert. In die weite Röhre C fließt warmes Wasser, durch die mit einem Thermometer versehene Röhre G ein, das wieder durch das T-Stück N ausströmt. Das Wasser kommt von der Wasserleitung und passiert auf seinem Weg zur Röhre G eine Metallspirale, die durch einen Bunsenbrenner erwärmt wird. Durch Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit und der Stellung des Brenners kann die Temperatur des Wassers genügend genau reguliert werden.

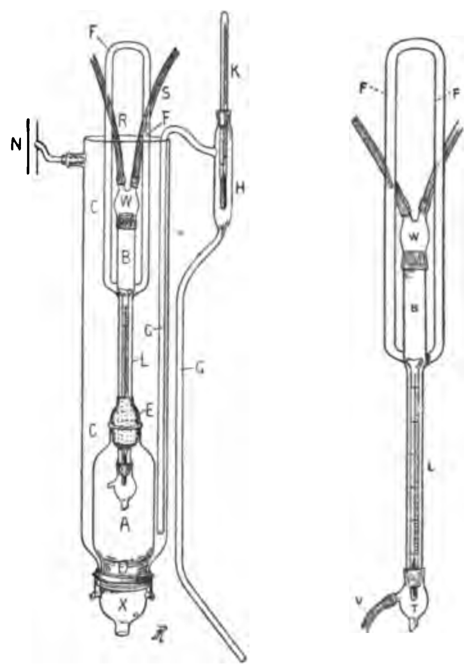


Fig. 19 a und b.
Apparat von Brodie.

Der Apparat wird folgendermaßen in Tätigkeit versetzt: Die Herzkanüle wird entfernt und die Röhre B dann so weit herabgeschoben, bis ihr unteres Ende aus der Kammer A herausschaut. Die Warmwasserzirkulation (durch C) wird dann in Gang gesetzt. Der eine Gummischlauch S wird mit dem Reservoir der Hauptspeiseflüssigkeit in Verbindung gesetzt und die Röhre B gefüllt, so daß sie während der Präparation die richtige Temperatur annehmen kann.

Das Herz wird nun ausgeschnitten und gut in Salzlösung gewaschen, bis möglichst alles Blut entfernt ist. Die Kanüle wird in die Aorta eingebunden. Sie wird nun unter die Röhre B gehalten, mit warmer Salzlösung gefüllt und sofort angeschlossen, worauf die Perfusion beginnt. Ein Haken mit einem langen Faden wird in die Herzspitze eingehakt und die Röhre B soweit in die Höhe gezogen, daß das Herz ganz in der Wärmekammer liegt. Die Herzkanüle hat noch eine Seitenöffnung V zur Verbindung mit einem langen dünnen Gummischlauch, durch die Gasblasen entfernt werden können oder die Kanüle ausgewaschen werden kann. Die Röhre B ist zum Schluß durch die Handhabe F fixiert. Die Herzschläge werden registriert durch einen Hebel, der mit dem Faden in Verbindung steht. (Suspensionsverfahren.) Alle wichtigen Teile des Apparats sind aus Jenaer Glas gefertigt. Die untere Öffnung der Kammer A kann, wenn erforderlich, durch einen halbkugelförmigen Becher bis auf ein Loch, durch das der Faden und der dünne Gummischlauch der Herzkanüle hindurchführt, geschlossen werden.

Groß (1903) hat unter der Leitung von Hering das Langendorffsche Verfahren so modifiziert, daß das Herz in dem Körper des Tieres in situ

bleibt. Das Präparat eignet sich besonders für die Beobachtung der Erfolge von Nervenreizungen. (Abb. s. Fig. 20.)

Herlitzka (1905) hat den Druck, mit dem die Flüssigkeit durch die Koronararterien getrieben wird, mit einer besonderen Vorrichtung reguliert und durch ein Quecksilbermanometer registriert.

Um bei pharmakologischen Untersuchungen das vergiftete Blut rasch gegen das unvergiftete auswechseln zu können, hat Wohlgemuth (1907) einen Dreiweghahn angewandt, der das Blut der toten Strombahn rasch

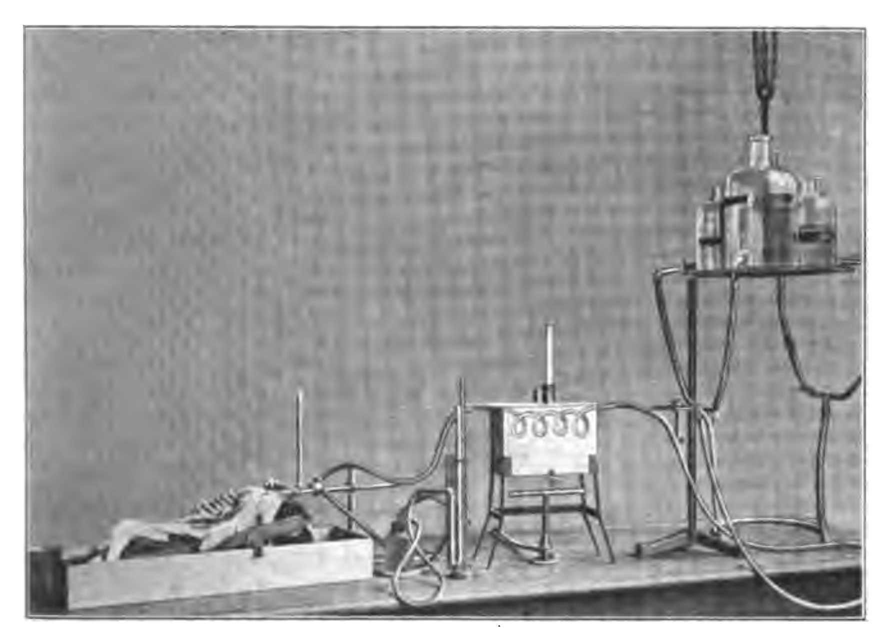


Fig. 20.
Anordnung nach Hering-Gross.

nach außen abzuleiten gestattet, so daß sofort die Giftlösung auf das Herz wirken kann. (S. auch die Mitteilung über eine ähnliche von Locke (1904) konstruierte Vorrichtung in dem vorhergehenden Kapitel S. 140.)

d) Technisch wichtige Beobachtungen am isolierten Warmblüterherzen.

Die Wiederbelebung gelingt auch bei anderen Herzen, so bei dem Menschenherzen, wie von Kuliabko in den Jahren 1902 bis 1903 und von Deneke und Velich 1905 gezeigt worden ist. Ebenso bei Vogelherzen (Kuliabko 1902). Sie ist selbst bei Herzen möglich, die bis 44 Stunden auf Eis gelegen haben, bei menschlichen Herzen bis 30 Stunden nach dem Tod (Kuliabkao 1902). Nach Hering (1903) sind Herzen nach 53 Stunden auch nach wiederholtem Gefrierenlassen schlagfähig. Auch die Wirkung der Akzeleratoren und des Vagus bleibt erhalten — erstere länger.

Nach Velich (1903) hebt die Unterbindung der Aorta unterhalb des Abgangs der linken Subclavian den Kreislauf in den unteren Körperteilen nicht auf. Also bestehen zahlreiche Kollateralen.

Einen außerordentlichen Einfluß der Durchblutungsgeschwindigkeit auf die Stärke des Herzschlags haben Langendorff (1895) und Schirrmacher (1901) festgestellt.

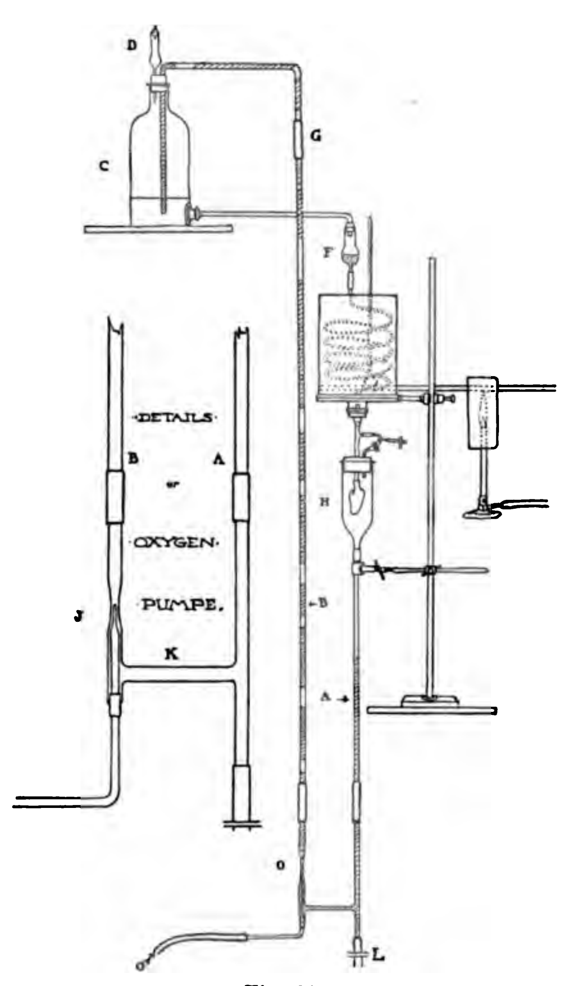


Fig. 21.
Apparat von Locke und Rosenheim. Beschreibung S. 167.

Als Magnus (1901) durch den Koronarkreislauf eines isolierten, künstlich durchbluteten Katzenherzens Sauerstoff unter Druck hindurchleitete, sah er die rhythmischen Kontraktionen über eine Stunde fortdauern. Auch bei Durchströmung mit Wasserstoff kann das Herz längere Zeit fortfahren, regelmäßig zu schlagen, dagegen bringt Kohlensäure das Organ schon nach kurzer Zeit unter Flimmern zum Stillstand.

Nach Guthrie und Pike (1906) spielt der Druck in den Koronargefäßen für die Auslösung des Herzschlags eine Rolle. Eine Injektion von Flüssigkeit beliebig indifferenter Natur, z. B. Paraffinöl bringt das Herz vorübergehend zum Schlagen. Dasselbe tritt bei Injektion in die Kranzvenen ein. Sollmann hat (1906) die ähnliche bemerkenswerte Beobachtung gemacht, daß die Perfusion des Langendorffschen Herzens mit Baumwoll- und Paraffinöl unter einem Druck von 1 bis 2 m das Herz zum kräftigen Schlagen bringt. Nach ihm ist die Ausdehnung der Koronararterien vermutlich ein Herzreiz. Die Versuche stehen in einem gewissen Gegensatz zu den Erklärungen, die Magnus (1901) für seine Versuchsergebnisse gegeben hat.

Von den zahlreichen Untersuchungen, die an dem überlebenden Säugetierherzen angestellt sind, erscheinen mir besonders diejenigen erwähnenswert, die sich mit der Einwirkung verschiedener Temperaturen beschäftigen, so u. a. die Arbeit von Adam (1905), der durch Berührung

der Wand des rechten Vorhofs mit verschieden temperierten Glas- oder Metallröhren lokale Temperaturveränderung erzeugt hat. Ferner die Untersuchungen von Hering über die Wirkung der zentrifugalen Herznerven (1907) und über die Bewegungen der Papillarmuskeln (1909, s. Kap. 27).

Daß mit dem isolierten Herzen Stoffwechselversuche angestellt werden können, ist von Johannes Müller (1903) und Locke und Rosenheim (1907) gezeigt worden. Locke und Rosenheim haben einen Apparat (s. Fig. 21) konstruiert, in dem automatisch eine Lösung von Dextrose in sauerstoffhaltiger Ringerlösung wiederholt durch das isolierte Säugetier (Kaninchenherz) zirkuliert. Der Sauerstoff strömt bei J in kleinen Blasen ein, dadurch wird der gesamte Druck der Säule O B G kleiner als derjenige der zusammenhängenden Flüssigkeitssäule in der Röhre A und die Flüssigkeit wird in das Reservoir zurückgehoben.

Adam 1905. Untersuchungen am isolierten überlebenden Säugetierherzen über Ursprung der Automatie der Herzbewegung. München. med. Wochenschr. 52. p. 1749.

Arnaud 1891, Expériences pour décider si le coeur et le centre respiratoire ayant cessé d'agir, sont irrévocablement morts. Arch. d. physiol. norm. et pathol., p. 396.

Bock J. 1898. Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Gifte auf das isolierte Säugetierherz. Arch. f. exper. Pathol. XLI. p. 158.

Bock J. 1908. Beiträge zur Methodik der Isolierung des Herz-Lungenkreislaufs und Untersuchungen über die Arbeit des Herzens bei Fiebertemperatur. Arch. exper. Path. Pharm. Suppl. 1908, 83.

Bohr und Henriques 1895. Über die Blutmenge, welche den Herzmuskel durchströmt. (Physiol. Institut Kopenhagen.) Skandinav. Arch. f. Physiol. V., p. 232, 237.

Braun u. Mayer 1899. Sitzungsbericht d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. z. Wien.

Brodie T. G. and Winifred C. Cullis 1907. An apparatus for the perfusion of the isolated mammalian heart. Journ. Physiol. London Vol. 37, 337.

Bryer 1886. The influence of atropin upon the dogs heart. Amer. Journ. Med. science July.

Deneke 1905. Die Wiederbelebung des Herzens einer Hingerichteten. Ärztl. Verein Hamburg. Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 31. p. 1011.

Donaldson 1887. Über eine Methode, das Herz von Warmblütern zu isolieren. Du Bois Archiv S. 584.

Donaldson and Howell 1884. The maximum volume of blood sent out by the left ventricle in a single beat; the influence of variations in venous pressure, arterial pressure and pulse rate upon the work done by the heart. Philos. Trans. Roy. Sc. Part. I, p. 139.

François Franck 1893. Potains Clinique médicale de la charité.

Fredericq 1886 (avec Legros). Recherches sur la respiration et la circulation. 3. article: exploration des battements du coeur par la sonde oesophagienne. Arch. d. biologie VII S. 229.

Gottlieb u. Magnus 1901 Digitalis und Herzarbeit. Arch. f. exper. Pathol. und Pharmakol. 51, S. 30.

Gross 1903. Die Bedeutung der Salze der Ringerschen Lösung für das isolierte Säugetierherz. Pflügers Archiv Bd. 99, S. 264.

Guthrie and Pike 1906. The relation of pressure in the coronary vessels to activity of the isolated heart. Science N. S. Vol. 24, p. 52.

Hedbom 1898. Über die Einwirkung verschiedener Stoffe auf das isolierte Säugetierherz. Skandin. Arch. f. Physiol. VIII, 147.

Hédon et Arrous 1899. Nouvelles méthodes pour l'isolement du coeur des mammifères et expériences diverses sur le coeur isolé. Arch. internat. d. pharmacodyn. VI, p. 121.

Heinricius 1890. Die Zählebigkeit des Herzens Neugeborener. Ztschr. für Biol. 26.

Hering 1898. Methode zur Isolierung des Herz-Lungen-Koronarkreislaufes bei unblutiger Ausschaltung des ganzen Zentralnervensystems. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXII. 163.

Hering H. E. 1907. Demonstrationen am überlebenden Säugetierherzen. (7. Internat. Physiol. Kongr. Heidelberg.) Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 33, p. 1567.

Herlitzka 1905. Ricerche sull'azione della temperatura sul cuore isolato di Mammifero. Zeitschr. allg. Physiol. Bd. 5, p. 265.

Herlitzka 1905. Über den Einfluß des arteriellen Druckes auf die Tätigkeit des isolierten Säugetierherzens. Arch. Ges. Physiol. Bd. 107, p. 557.

Herlitzka 1905. Quelques expériences sur la réviviscence. (Atti R. Accad. Med. Torino Ann. 68). Arch. ital. Biol. T. 44, p. 93.

Hédon et Gilis 1892. Sur la reprise des contractions du coeur. après arrêt complet de ses battements, sous l'influence d'une injection de sang dans artères coronaires. Compt. rend. de la soc. d. biol. 760.

Kuliabko 1902. Studien über die Wiederbelebung des Herzens. Arch. f. d. ges. Physiol. 90. 461.

Kuliabko 1902. Neue Versuche über die Wiederbelebung des Herzens. Wiederbelebung des menschlichen Herzens. Zentralbl. f. Physiol. 16. 330.

Kuliabko 1902. Versuche an isolierten Vogelherzen. Zentralbl. f. Physiol. 15. 588.

Kuliabko 1903. Weitere Studien über die Wiederbelebung des Herzens. Arch. f. d. ges. Physiol. 97. 539.

Kuliabko 1903. Sur la reviviscence du coeur. Compt. d. l'acad. d. scienc. 136.p. 63.

Landois 1876. Graphische Untersuchungen über den Herzschlag im normalen und krankhaften Zustand.

Langendorff 1895. Untersuchungen am überlebenden Säugetierherzen. Arch. f. d. ges. Physiol. LXI, 291.

Langendorff 1897. Untersuchungen am überlebendem Säugetierherzen. II. Abhandl. Über den Einfluß von Wärme und Kälte auf das Herz der warmblütigen Tiere. Mit G. Nawrocki. Arch. f. d. ges. Physiol. LXVI, 355.

Langendorff 1898. Untersuchungen am überlebenden Säugetierherzen. 3. Abhandl. Vorübergehende Unregelmäßigkeiten des Herzschlages und ihre Ausgleichung. Arch. f. d. ges. Physiol. LXX. 473.

Langendorff 1900. Zur Kenntnis des Blutlaufs in den Kranzgefäßen des Herzens. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXVIII. 423.

Langendorff 1900. Das Sauerstoffbedürfnis des Warmblüterherzens. Sitzungsber. d. naturf. G. Rostock No. 1, S. 9.

Langendorff (mit Schlüter) 1901. Eine neue Methode zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Herzmuskel. Sitzungsber. d. naturf. Ges. Rostock. auch Arch. ital. d. biologie XXXVI, p. 51.

Langendorff (mit F. Schlüter) 1901. Neues Verfahren zur Untersuchung der Reizleitung im Warmblüterherzen (Physiol. Kongr.) Arch. ital. d. biologie XXXVI. p. 51.

Langendorff 1902. Herzmuskel und intrakardiale Innervation. Ergebnisse der Physiologie I. 2. p. 264.

Langendorff und Hueck 1903. Die Wirkung des Kalziums auf das Herz. Arch. f. d. ges. Physiol. 96, p. 473.

Langendorff 1903. Geschichtliche Bemerkungen zur Methode des überlebenden Warmblüterherzens. Münchn. med. Wochenschr. No. 12.

Langendorff 1903. Die Kaliwirkung lackfarben gemachten Blutes. Arch. f. d. ges. Physiol. 99, p. 30.

Langendorff 1903. Über die angebliche Unfähigkeit des lackfarbenen Blutes, den Herzmuskel zu ernähren. Arch. f. d. ges. Physiologie 93, p. 286.

Langendorff 1905. Neuere Untersuchungen über die Ursache des Herzschlages. Ergebnisse der Physiologie IV. 2. p. 764.

Langendorff 1906. Über den Ausgangspunkt der Herztätigkeit. Arch. Ver. Freunde Nat. Mecklenburg Jahrg. 60, p. 6.

Langendorff und C. Lehmann 1906. Über einige an den Herzohren angestellte Beobachtungen. Arch. ges. Physiol. Bd. 112, p. 522.

Langendorff und C. Lehmann 1906. Der Versuch von Stannius am Warmblüterherzen. Arch. ges. Physiol. Bd. 112, p. 352.

Langendorff 1907. Über die Innervation der Koronargefäße. Zentralbl. f. Physiol. 21. p. 551.

Langendorff 1907. Untersuchungen über die Natur des periodisch-aussetzenden Rhythmus, insbesondere des Herzens. Arch. ges. Physiol. Bd. 121, p. 54.

Locke und O. Rosenheim 1905. Notiz über die Überlebensdauer des isolierten Säugetierherzens. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 19, p. 737.

Locke and O. Rosenheim 1907. Contributions to the physiology of the isolated heart. The consumption of dextrose by mammalian cardiac muscle. Journ. of Physiol. London Vol. 36, p. 205.

Ludwig und Schmidt 1868. Das Verhalten der Gase, welche mit dem Blute durch den reizbaren Säugetiermuskel strömen. Sächs. Berichte p. 15.

Maaß 1899. Experimentelle Untersuchungen über die Innervation der Kranzgefäße des Säugetierherzens. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXIV. p. 281.

Macgrath and Kennedy 1897. Journal of experimental medicine II, p. 13.

Magnus 1901. Die Tätigkeit des überlebenden Säugetierherzens bei Durchströmung mit Gasen. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. S. 200.

Magnus 1901. Zur Ernährung des Herzens (Physiol. Kongr.) Arch. ital. d. biologie XXXVI. p. 114.

Martin N. 1881. A new method of studying the mammalian heart. Studies from the biological laboratory of the Johns Hopkins University II. p. 119.

Martin 1882. The direct influence of gradual variations of temperature upon the rate of beat of the dog's heart. Proceed. Roy. Soc. XXXIV. p. 444.

Martin 1882. Observations on the direct influence of variations of arterial pressure upon the rate of beat of the mammalian heart. Studies from the physiol. labor. of the Johns Hopkins Univ. Baltimore II, p. 213.

Martin 1883. The direct influence of gradual variation of temperature upon the rate of beat of the dog's heart. Philos. Transactions Roy. Soc. CLXXIV. p. 663—688.

Martin und Steffens 1883. The effect of alkohol on the isolated heart of the dog. Studies from the biolog. lab. of the Johns Hopkins Univ.

Martin and Donaldson 1887. Experiments in regard to the supposed „suction pump“ action of mammalian heart. Studies from the biolog. labor. Johns Hopkins Univ. IV, p. 37.

Martin N. 1895. Physiological papers. Baltimore.

Martin and Applegarth 1890. On the temperature limits of the vitality of the mammalian heart. Studies from the biolog. labor. Johns Hopkins University IV, p. 275.

Müller, J. 1903. Studien über die Quelle der Muskelkraft. I. Über den Zuckerverbrauch bei der Muskelarbeit. Zeitschr. f. allg. Physiol. 3, p. 282 und Sitz. Ber. d. naturf. Gesellsch. zu Rostock.

Nawrocki 1897. Über den Einfluß der Temperatur auf die Tätigkeit des Säugetierherzens. Rostock 1896.

Pawlow 1887. Über den Einfluß des Vagus auf die Arbeit der linken Herzkammer. (Physiol. Institut Leipzig). Arch. f. Physiol. p. 452—494.

Porter 1897. On the cause of the heart beat. (Physiol. labor. Harvard med. School). Journ. of exper. med. (New York) II, p. 391—404.

Porter 1898. A new method for the study of the isolated mammalian heart (Physiol. labor. Harvard School, Boston). Amer. journ. of Physiol. I., p. 511—518.

Pratt 1898. The nutrition of the heart through the vessels of Thebesius and the coronary vessels. (Physiol. labor. Harvard School, Boston). Amer. journ. of physiol. I. p. 86–103.

Rusch 1898. Experimentelle Studien über die Ernährung des Säugetierherzens. (Physiol. Institut Rostock.) Arch. f. d. ges. Physiol. LXXIII, p. 545–554.

Siewert 1904. Über ein Verfahren der manometrischen Registrierung der Zusammenziehungen des isolierten Säugetierherzens. (Pharmakol. Labor. Kiew.) Arch. f. d. ges. Physiol. 102, p. 364—372.

Schirrmacher 1901. Über den Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit in den Kranzarterien des isolierten Säugetierherzens auf Stärke und Frequenz des Herzschlages. Rostock.
Schlüter 1902. Die Reizleitung im Säugetierherzen. (Physiol. Institut Rostock.) Arch. f. d. ges. Physiol. 89, p. 87—111.
Sollmann T. 1906. The revival of the excised mammalian heart by perfusion with oil. Amer. journ. of Physiol. Vol. 15, p. 121—126.
Stolnikow 1886. Die Eichung des Blutstroms in der Aorta des Hundes. (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Physiol. p. 1—66.
Strecker 1900. Über das Sauerstoffbedürfnis des ausgeschnittenen Säugetierherzens. (Physiol. Institut Rostock.) Arch. f. d. ges. Physiol. LXXX, p. 161—175.
Tschistowitsch 1887. Eine neue Methode zur Erforschung der Wirkung verschiedener Agentien auf das isolierte Herz der warmblütigen Tiere. Zentralbl. f. Physiol. 1, p. 133.
Velich 1903. Über das Verhalten des Blutkreislaufes nach Unterbindung der Aorta. Pflügers Arch. 95, S. 264.
Velich 1905. Kritische und experimentelle Studien über die Wiederbelebung von tierischen und menschlichen Leichen entnommenen Herzen. Münchn. med. Wochensch. 50. Jahrg. p. 1421.
Waroux 1900. Du tracé de contraction d'un fragment isolé du myocarde. Arch. d. biol. XVII, p. 543—551.
Weekers L. 1906. Propriétés du muscle cardiaque isolé du chien. Arch. Intern. Physiol. Vol. 4, p. 76—86.
Wohlgemuth J. 1907. Zur Methodik der Herzdurchblutung im Langendorffschen Apparat. Zentralbl. Physiol. Bd. 21, p. 828—831.
Woodworth 1902. Maximal contraction, „staircase“ contraction, refractory period, and compensatory pause, of the heart. (Physiol. labor. Harvard med. School.) Amer. journ. of physiol. 8, p. 213—249.

Kapitel 25.

Ernährungsflüssigkeiten für das Herz.

Die Flüssigkeiten, die man zur Speisung des ausgeschnittenen Kaltblüterherzens angewendet hat, sind verschiedenartige gewesen. Die Ludwigsche Schule hat vorzugsweise Blut, das durch eine physiologische Kochsalzlösung verdünnt worden war, benutzt. Von einigen Schülern Ludwigs, so von Kronecker, ist Serum bezw. durch Kochsalzlösung verdünntes Serum angewandt worden. Von Kronecker ist behauptet worden, daß die Eiweißkörper des Serums für die länger dauernde Speisung des Kaltblüterherzens notwendig sind. Es ist indessen besonders von Ringer gezeigt worden, daß die Salze, die in der Lösung enthalten sind, von großer Bedeutung für die Unterhaltung der regelmäßigen Schlagfolge sind. Es ist ferner gezeigt worden, daß eine Reihe von organischen Stoffen, die man für die Ernährung des Herzens als wichtig angesehen hat, ihren Einfluß nur dem Gehalt an Salzen verdanken. Man kann eine Salzlösung ohne organische Stoffe bilden, die für längere Zeit die regelmäßige Schlagfolge des Kaltblüterherzens unterhält. Eine derartige Lösung wird als Ringersche Lösung bezeichnet. Sie ist folgendermaßen zusammengesetzt:

100 C. C. 0,6 % NaCl. Darin 1 CC. 1 % $NaHCO_3$, 1 CC. 1 % $CaCl_2$, 0,75 CC. 1 % KCl.

Auf Grund einer sorgfältigen Untersuchung empfiehlt Göthlin (1902, S. 9) ein Gemisch von

NaCl	0,65 %
$NaHCO_3$	0,1 %
KCl	0,01 %
$CaCl_2$	0,0065 %
Na_2HPO_4	0,0009 %
NaH_2PO_4	0,0008 %.

Es ist selbstverständlich, daß aus diesen Salzen das Herz nicht das Material zu seiner Leistung entnehmen kann. Dies muß aus den bei der Präparation im Herzen zurückgebliebenen Nahrungsstoffen (vorzugsweise Glykogen) stammen. Wohl um dieses verbrauchte Material zu ergänzen, hat Locke der Ernährungsflüssigkeit Traubenzucker zugesetzt (1895), wodurch die Tätigkeit des Froschherzens verstärkt wird. Die Lockesche Flüssigkeit besteht aus Ringerlösung mit einem Zusatz von 0,1 % Traubenzucker (s. unten). Nur Lävulose hat einen ähnlichen, aber geringeren Effekt. Es ist natürlich hier nicht möglich, im einzelnen die Probleme der Ernährung des ausgeschnittenen Kaltblüterherzens zu erörtern, ich möchte nur betonen, daß mit den bisherigen Versuchen die Frage nicht abgeschlossen ist. Denn selbstverständlich sind die organischen Stoffe der natürlichen Ernährungsflüssigkeit des Blutes von ebenso großer Bedeutung wie die anorganischen Stoffe. Die bisherigen Versuche lassen ihre Bedeutung aber noch nicht klar erkennen.

Locke (1895) hat ferner die wichtige Beobachtung gemacht, daß Spuren von Schwermetallen das Leben von Organismen (Tubifex) schädigen. Dasselbe gilt auch für die Herztätigkeit. Die Beobachtung Lockes wurde von Ringer bestätigt. Deshalb muß das Wasser, mit dem die Ringerlösung hergestellt wird, aus Glasgefäßen destilliert werden. Dies gilt besonders für die Ringerlösung, die zur Durchspülung des Warmblüterherzens benutzt wird.

Bei der Speisung des isolierten Warmblüterherzens verwandte man zuerst Blut, und zwar derselben Tierart, das mit physiologischer Kochsalzlösung verdünnt war.

Porter (1898) zeigte, daß das völlig isolierte Warmblüterherz, ja sogar Teile des Ventrikels, lange Zeit fortschlägt, wenn es mit Serum durchströmt wird, während sich das Herz in einer Sauerstoffatmosphäre von einigen Atmosphären Druck befindet.

Locke hat später (1898) erklärt, daß er schon früher als Porter erhöhten Sauerstoffdruck für die Unterhaltung des Herzschlags vorgeschlagen habe. Im Jahre 1898 (S. 568) teilte er dann mit, daß es ihm gelungen ist, das isolierte Kaninchenherz durch mehr als drei Stunden im kräftigen Schlagen zu erhalten, wenn er das Herz mit einer nach seiner Vorschrift modifizierten Ringerlösung in einer Umgebung von Sauerstoff von 2 Atmosphären Druck durchströmen ließ.

Im Jahre 1901 (Zentralbl. XIV) zeigt Locke, daß nachdem Rusch (1898) schon gefunden hatte, daß das überlebende Säugetierherz mit Ringerscher Lösung eine halbe bis dreiviertel Stunden am Leben bleibt, daß diese

Lebensdauer verlängert wird, wenn man die Flüssigkeit mit Sauerstoff unter Atmosphärendruck sättigt, vor allen Dingen aber, wenn man der konstant von Sauerstoff durchströmten Flüssigkeit 0,1 % Dextrose zufügt. Er empfiehlt folgende Ernährungsflüssigkeit:

Kochsalz 0,92 %,
Chlorkalium 0,042 %,
Chlorkalzium 0,024 %,
Doppelt kohlensaures Natron 0,015 %,

mit Zusatz von 0,1 % Traubenzucker.

Auf dem Internationalen Physiologischen Kongreß 1901 demonstriert Locke ein mit einer derartigen Flüssigkeit durchspültes Kaninchenherz. Locke und Rosenheim geben (1905) an, daß der linke Ventrikel eines Herzens, das nach dem Langendorffschen Verfahren mit Lockescher Flüssigkeit gespeist war, zwei Tage, und der rechte Ventrikel vier Tage geschlagen hat. Nach den neueren Erfahrungen genügt die Sättigung der Ringerschen oder Lockeschen Lösung mit Sauerstoff unter dem gewöhnlichen Partiardruck der atmosphärischen Luft. Die Ringerlösung muß tüchtig mit der atmosphärischen Luft durchgeschüttelt werden.

Rusch (1898 S. 544) empfiehlt für die Zusammensetzung der Ringerschen Lösung folgende Vorschrift: Sie soll enthalten auf einen Liter destillierten Wassers 0,1 g $NaHCO_3$, 0,1 g $CaCl_2$, 0,075 g KCl und 8 g NaCl. Die Salze sollen in der angegebenen Reihenfolge gelöst werden, da sonst leicht Niederschläge auftreten.

Im übrigen vergl. Kap. 24d.

Göthlin 1902. Über die chemischen Bedingungen für die Aktivität des überlebenden Froschherzens. Skandinav. Archiv XII, p. 1.
Kronecker und Martius 1881. Du Bois-Reymonds Archiv, p. 474.
Locke 1895. On a supposed action of distilled water as such on certain animal organisms. Journ. of Physiol. XVIII.
Locke 1895. Towards the ideal artificial circulating fluid for the isolated frog's heart. Journ. of Physiol. XVIII, p. 332—333.
Locke 1898. Bemerkungen zu der von W. T. Porter veröffentlichten Methode zum Studium des isolierten Säugetierherzens. Zentralbl. f. Physiol. XII. p. 353 u. 568.
Locke 1898. Die Speisung des überlebenden Säugetierherzens. Vorl. Mitt. Zentralbl. f. Physiol. XII. p. 568.
Locke 1901. Die Wirkung der Metalle des Blutplasmas und verschiedener Zucker auf das isolierte Säugetierherz. Zentralbl. f. Physiol. XV. 1900, p. 670.
Porter 1898. Siehe Kapitel 24.
Ringer 1885. Regarding the influence of the organic constituents of the blood on the contractility of the ventricle. Journ. of physiol. VI, p. 362.
Ringer 1897. The action of distilled water on tubifex. Journ. of physiol. XXII, p. 14.
Rusch 1898. Siehe Kapitel 24.

Kapitel 26.

Inspektion der Herzbewegungen. Akupunktur.

Wer einmal die Bewegungen des bloßgelegten Warmblüterherzens mit dem Auge zu verfolgen gesucht hat, wird die außerordentlichen Schwierigkeiten erkannt haben, durch einfache Besichtigung die Form und Lagever-

änderung des Herzens festzustellen. (Über die Methoden zur Eröffnung des Thorax siehe Teil III.)

Harvey (1649) hat bei seinen berühmten Untersuchungen diese Schwierigkeiten wohl gefühlt. Ich setze seine Worte hierher (Schäfers Textbook Bd. II S. 1): "When first I gave my mind to vivisections, as a means of discovering the movements and uses of the heart, and sought to discover these from actual inspection, and not from the writings of others, I found the task so truly arduous, so full of difficulties, that I was almost tempted to think (with Fracastorius) that the movement of the heart was only to be comprehended by God. For I could neither rightly perceive at first when the systole and when the diastole took place, nor when and where dilatation and contraction occured, by reason of the rapidity of the movement, which in many animals is accomplished in the twinkling of an eye, coming and going like a flash of lightning; so that the systole presented itself to me now from this point, now from that — the diastole the same; and then everything was reversed, the movements occuring, as it seemed, variously and confusedly together."

Nur wenn die Herzbewegung sich beim Absterben verlangsamt, kann man nach Harvey über die Bewegungen einigermaßen ins klare kommen. Man darf wohl sagen, daß Harvey vollständig recht hat mit seinen Bemerkungen, daß aber jetzt stets Mittel zur Verfügung stehen, die Bewegungen des Herzens in irgendeiner Weise mit den in den nachfolgenden Kapiteln geschilderten Methoden graphisch zu registrieren und sie so für die spätere genauere Analyse festzuhalten. Man kann die durch bloße Besichtigung gemachten Feststellungen höchstens als Anregung zur weiteren Untersuchung und niemals als Grundlage für wichtige Schlüsse verwenden. Ein sorgfältiger Beobachter wird allerdings das durch die Besichtigung Gewonnene nicht in Widerspruch geraten lassen mit den Ergebnissen der Registrierung. Die Inspektion kann die Registriermethoden in manchen Fällen unterstützen. So besonders dann, wenn länger dauernde Veränderungen der Lage oder der Form oder des Füllungszustandes eintreten. Ich glaube z. B., daß die Behauptungen, daß eine Vagusreizung allein einen Tetanus des Herzens hervorrufen kann, nicht aufgestellt worden wären, wenn von den Autoren das Herz unmittelbar beobachtet worden wäre. Vermutlich befand sich dabei das Herz nicht in dauernder systolischer Stellung, sondern in dauernder diastolischer Stellung. Hier wäre durch die Inspektion leicht eine Aufklärung möglich gewesen.

In einer Reihe von Untersuchungen hat man sich bemüht, das Spiel der Klappen durch Besichtigung festzustellen. Man kann hier wohl ungefähr einen Aufschluß über die Ruhestellung der Klappen, z. B. über die Schlußstellung der Atrioventrikularklappen durch Beobachtung der abgeschnittenen Herzbasis, erhalten. Aber niemals wird man hierdurch zu einem sicheren Schluß über die zeitlichen Verhältnisse der Klappenbewegung kommen. Auch hierüber können nur die Registriermethoden, über die unten noch näher berichtet wird, Aufschluß geben, wie sie z. B. von Fredericq (1888), Krehl (1889), Porter (1892) angewandt worden sind. Daß man unter Umständen durch den Tastsinn etwas über die Stellungen der Klappen erfahren kann, haben Chauveau und Faivre (1856) gezeigt, die einen Finger in das

schlagende Herz eines Pferdes gesteckt haben und dabei fanden, daß die Atrioventrikularklappen sich schon vor dem vollständigen Schluß etwas erheben.

Die Flüssigkeitsbewegung kann dadurch sichtbar gemacht werden, daß man leichte Körperchen, die von ihr getragen werden, hineinbringt. In dieser Weise ist die Wellenbewegung 1850 von E. H. Weber und später die Wirbelbewegung in der Nähe der Klappen von Ceradini (1871) studiert worden.

Daß die Herzbewegungen durch Verbindung des Herzens mit geeigneten Hebelapparaten registriert werden können, wird in dem nächsten Kapitel ausführlich erörtert. Man kann derartige Hebelvorrichtungen auch dazu benutzen, einzelne Komponenten der Bewegung besser sichtbar zu machen. Eine vielfältige Anwendung hat bei Vorlesungsversuchen, aber auch zu wissenschaftlichen Untersuchungen, die Akupunktur erfahren. Durch die Brustwand hindurch (oder in das bloßgelegte Herz) wird eine spitze Nadel in das Herz gestochen, deren Bewegungen an ihrem Knopf beobachtet werden. Den Knopf der etwa 5—8 cm langen Nadel macht man entweder stark glänzend oder man läßt ihn gegen eine Glocke, ein Glas oder dergl. anschlagen (Wagner 1854, s. Gscheidlen S. 571). Die Nadel kann wieder herausgezogen werden, ohne daß das Herz — wegen der starken Verfilzung seines Gewebes — leck würde. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen ist diese von Jung 1836 eingeführte Methode von Brücke (1855), Filehne (1874) und Haycraft (1891) angewandt worden. Daß die Registrierung der Herznadelbewegungen Schwierigkeiten bietet, daß man insbesondere jeden Zug auf die Herznadel dabei vermeiden muß, ist von mir (1897) gezeigt worden. (Über die Akupunktur siehe weiter Gscheidlen S. 582—592.) Die Beobachtung der Herzbewegungen durch die Herznadel hat den Vorteil, daß man den Thorax nicht zu eröffnen braucht und dadurch das Herz nicht aus seiner normalen Lage bringt.

Von Vulpian (1874, siehe Gscheidlen S. 572) sind rechtwinklig abgebogene Papierblättchen auf die Wände des bloßgelegten Herzens — des Vorhofs oder Ventrikels — aufgeklebt worden, um die Bewegungen besser verfolgen zu können. Ähnlich legt Czermak (1864, Gscheidlen S. 572) kleine Spiegelchen auf die Herzwand oder befestigt sie mit durch die Wand hindurchgezogenen Fäden. Czermak hat auch Spiegelchen an der Akupunkturnadel angebracht. Die Spiegel reflektieren einen Lichtstrahl.

Ludwig (1849) und Sibson (1869) haben versucht, die Änderungen der Herzform dadurch genauer als durch die einfache Inspektion festzustellen, daß sie einen Millimetermaßstab über das Herz gelegt und damit die Lageveränderungen gemessen haben. Auch durch hebelähnliche Vorrichtungen hat Ludwig die Veränderungen der Längs-, Quer- und Tiefendimensionen zu ermitteln versucht. Kürschner (1841, siehe Gscheidlen, Physiolog. Methode S. 544) hat an dem toten Tier die Veränderungen der Dimensionen bei der Füllung und Entleerung beobachtet. Ähnlich verfuhr Wintrich (siehe Abhandlung von Berner 1859 nach Gscheidlen S. 554). Wenn auch durch den Maßstab eine gewisse Unterstützung des Gesichtssinnes ermöglicht wird, so hat diese Methode aus den vorher angegebenen Gründen keine weitere Bedeutung. Die Benutzung eines Maßstabes oder

eines anderen Koordinatensystems dürfte dagegen die Kinematographie des Herzens unterstützen.

Die Methoden zur graphischen Feststellung der Entfernung zweier Herzpunkte werden in den nächsten Kapiteln beschrieben werden.

Brücke 1855. Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XIV, p. 348.
Ceradini 1871. Der Mechanismus der halbmondförmigen Klappen. Leipzig 1872.
Chauveau und Faivre 1856. Nouvelles recherches expérimentales sur les mouvements et les bruits normaux du coeur. Gaz. Méd. Nr. 24, 27, 30, 37.
Czermak 1869. Siehe Kapitel 23.
Filehne 1874. Über den Einfluß des Amylnitrits auf Gefäßtonus und Herzschlag. Pflügers Arch. 9, S. 470.
Frank 1897. Verlangsamung und Beschleunigung des Herzschlages. Sitzungsber. d. Ges. f. Morphol. u. Physiol. München.
Fredericq 1888. Recherches sur la circulation et la respiration. La pulsation du coeur chez le chien. Arch. d. Biologie VIII. p. 497—622. Taf. 9.
Harvey 1649. An anatomical dissertation upon the movements of the heart. Canterbury.
Haycraft 1891. The movements of the heart within the chest cavity and the cardiogramm. Journ. of physiol. XII. p. 438—474.
Jung 1836. Ber. d. naturf. Gesellsch. in Basel II. S. 19.
Krehl 1889. Untersuchungen über den Druckablauf in den Herzhöhlen und den Arterien. Verhandlungen des Kongr. f. inn. Med, p. 329—332.
Kürschner. Über den Herzstoß. Arch. f. Anat. Physiol. und wissensch. Med. S. 107.
Ludwig C. 1849. Über den Bau und die Bewegungen des Herzventrikels. Zeitschrift f. rat. Med. VII, p. 189.
Porter 1892. Researches on the filling of the heart. Journ. of physiol. XIII. p. 513—553.
Sibson und Broadbent 1869. Medical anatomy p. 89.
Vulpian 1874. Sur les mouvements du coeur. Gaz. hebd. 2 sér. T XI. p. 19.
Wagner 1854. Neurologische Untersuchungen S. 217.
Weber E. H. 1850. Sächs. Berichte S. 186.

Kapitel 27.

Kardiographie des bloßgelegten Herzens und einzelner Herzteile.

A. Einfache Kardiographie.

Ebenso wie bei dem Kaltblüterherzen hat man auch die Bewegungen des Warmblüterherzens sehr frühzeitig durch Hebelvorrichtungen vergrößert zu demonstrieren oder zu registrieren versucht. Eine der ältesten Untersuchungen ist von Ludwig und Hoffa (1850, Apparat siehe Gscheidlen S. 575) vorgenommen worden. Ludwig und Hoffa haben mit einem gewissen durch die Belastung gegebenen Druck ein Stäbchen, das an dem einen Ende eine Pelotte trug, auf die Herzoberfläche an verschiedenen Punkten aufgesetzt. Die Bewegungen dieses Stäbchens wurden durch ein Hebelsystem vergrößert aufgeschrieben. Ähnlich hat Baxt (1878) die Bewegungen registriert. Das Instrument erinnert in seiner komplizierten Ausführung an den alten Vierordtschen Sphygmographen. Man hat damals einen zu großen Wert auf die rein geometrischen Verhältnisse der Registriervorrichtungen, wie z. B. die Proportionalität der Ausschläge oder die Geradlinigkeit der Ordinaten gelegt und das Wesentliche, die Trägheitskräfte und Reibungskräfte, außer acht gelassen.

Bei späteren Untersuchungen sind wiederholt Hebel mit der Herzoberfläche verbunden worden, die zur Registrierung der Herzbewegung dienen sollten. Man hat diese Hebel meistens durch eine Klemme und einen Faden mit der Herzoberfläche verbunden, ähnlich wie dies von Gaskell und Engelmann bei dem Kaltblüterherz geschehen ist (s. Kap. 23). Man hat diesem Verfahren den Namen der Suspensionsmethode gegeben. Im Interesse der Leistungen dieser Methode für den vorliegenden Zweck ist es zu wünschen, daß sie durch diesen Namen nicht charakterisiert wird.

Ich habe bei der Durchsicht der Literatur und auf Grund eigener Erfahrung die Überzeugung gewonnen, daß ein derartig einfaches Verfahren, unkritisch verwendet, weder die zeitlichen noch die quantitativen Verhältnisse, ja nicht einmal immer die Zahl der Herzschläge korrekt aufzuzeichnen vermag. Eine eingehende Kritik dieses Verfahrens wäre in jedem Fall notwendig. Sie hätte vor allem nach dem in den „Prinzipien" Bd. I, 4 Gesagten die Rückwirkung der bewegten Teile des Instrumentes auf die Herzbewegung und den Kreislauf zu berücksichtigen.

Knoll (1895) hat die „vierfache Herzsuspension" angewandt zu seinen Untersuchungen über die Aufeinanderfolge der Kontraktionen der einzelnen Herzteile (s. auch Fischel 1897).

Wie unten bei der Besprechung des Royschen Myokardiographen erwähnt wird, haben François Franck bei einem Fall von Ectopia cordis (1877 s. Marey circulation S. 108) und wohl auch Mac William (1887 n. Notiz in Roy und Adami, s. a. Jarotzky 1898) die Bewegungen des bloßgelegten Herzens dadurch verzeichnet, daß sie den Knopf eines gewöhnlichen Kardiographen auf die Herzwand aufdrückten. Roy und Adami haben dazu bemerkt, daß diese Methode ganz unzuverlässig ist. Ich kann mich dem nur anschließen. Man wird mit einer derartigen Methode, bei der ein kräftiger und wechselnder Druck auf die Herzwand ausgeübt wird, keine auch nur annähernd richtige oder konstante Kurve der Formveränderungen des Herzens erhalten. Der von außen ausgeübte Druck führt zu einer Entspannung der Herzwand und verwandelt dadurch das reine Kardiogramm mehr oder weniger in eine Druckkurve.

Hürthle (1891) hat hauptsächlich, weil der Herzspitzenstoß zu schwach fühlbar ist, ein Gummibeutelchen zwischen die Brustwand und die Pleura bezw. das Perikard und dessen Innenraum mit einer „sehr empfindlichen Registriertrommel" in Verbindung gebracht. Ich gebe hier seine eigenen Worte wieder, mit denen er das Verfahren beschreibt. S. 42: „Da bei den in der Rückenlage befindlichen Tieren der Herzspitzenstoß in vielen Fällen nicht fühlbar und die Registrierung desselben am unverletzten Thorax nicht möglich ist, wurde bei diesen Tieren zur Aufzeichnung des Kardiogramms eine Vorrichtung verwendet, durch welche zwar die Brustwand verletzt, aber das Eindringen von Luft in die Pleurahöhle vermieden und die natürliche Atmung des Tieres nicht beeinträchtigt wird. Mittels dieser Vorrichtung wird ein sehr kleines Gummibeutelchen zwischen Herz und Brustwand gebracht und die dem Beutelchen mitgeteilten Pulsationen werden auf einen registrierenden Apparat übertragen."

S. 43: „Da infolge der Kleinheit des Gummibeutelchens durch die Herzaktion nur kleine Massen verschoben werden, muß eine sehr empfindliche

Registriertrommel angewendet werden; diesen Zweck erfüllt ein Gummimanometer, welches mit dünner Membran überzogen ist. Aus demselben Grunde kann die Übertragung der Druckschwankungen nicht durch Luft geschehen, sondern muß durch Wasser vermittelt werden."

Über die Benutzung der Akupunktur zur Kardiographie siehe Kap. 26 und Gscheidlen S. 582—592.

B. Relativbewegung einzelner Punkte des Herzens.

Von großer Wichtigkeit erscheint es, die relative Bewegung einzelner

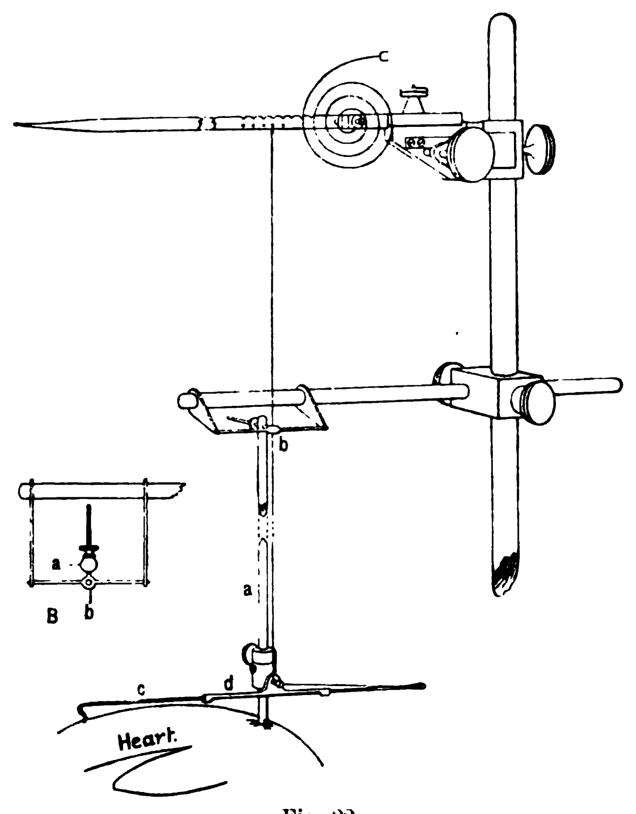


Fig. 22.
Myokardiograph nach Roy.

Punkte der Herzwand zu registrieren. Roy hat zuerst den Versuch gemacht (Roy und Adami 1892), ein besonderes Instrument für diese Aufgabe zu konstruieren. Mit diesem „Myokardiographen" sollen die Veränderungen der Entfernung zweier beliebiger Punkte der Herzwand registriert werden, ohne daß die Kontraktionen der Herzwand oder die Bewegungen des Herzens gestört werden. Weiter sollten mit ihm auch zu gleicher Zeit die Bewegungen verschiedener Herzabteilungen aufgeschrieben werden, z. B. diejenige eines Vorhofs und eines zu dem Vorhof gehörigen Ventrikels usw., oder auch die Bewegungen der Kammer und zu gleicher Zeit die Bewegungen der Papil-

larmuskeln. Das Prinzip des in Fig. 22 abgebildeten Apparates besteht darin, daß ein leichter Stab mit seinem Ende an einen Punkt der Herzoberfläche angedrückt oder durch einen Faden mit ihm verbunden wird, und daß an diesem Ende die Büchse für einen horizontalen Stab angebracht ist, dessen Spitze an einen anderen Punkt der Herzoberfläche eingehakt wird. Das horizontale Stäbchen bewegt sich entsprechend dem Wechsel der Entfernung seiner Spitze von derjenigen des vertikalen Stabes hin und her. Diese Bewegungen werden durch einen Hebel aufgeschrieben, der durch einen in passender Weise um das Ende des vertikalen Stäbchens herumgeschlungenen Faden mit dem Ende des horizontalen Stäbchens verbunden ist. In der Figur ist der eine Punkt der Herzoberfläche, dessen relative Bewegungen aufgeschrieben werden sollen, durch das Ende des vertikalen Stäbchens a bestimmt. In den zweiten Punkt ist die Spitze des Stäbchens c (links auf der Zeichnung) eingehakt. Die um eine Achse (in der Zeichnung rechts von d) bewegliche Büchse, in der das Stäbchen c gleitet, ist mit d bezeichnet. Sie ist durch die kleine Muffe in passender Höhe an dem Stab a befestigt. Der 9 Zoll lange Stab a muß mit seiner Spitze natürlich den Bewegungen des Punktes der Herzwand, an dem sie anliegt, folgen können. Er ist deshalb oben bei b in einer Art kardanischem Gelenk aufgehängt. Der Faden, der das Stäbchen c mit dem Hebel verbindet, ist zunächst um die Achse der Büchse d geschlungen und läuft dann parallel mit dem Stab a durch ein Loch b in der Nähe der Aufhängung des Stabes a zu dem Hebel. Der Hebel wird durch eine Spiralfeder in die Höhe gezogen, so daß der Faden immer gespannt bleibt. Wenn gleichzeitige Aufzeichnungen von Vorhof und Ventrikel ausgeführt werden sollen, so wird das Ende des Stabes a auf einen Punkt der Atrioventrikulargrenze aufgesetzt, das Häkchen von dem horizontalen Stäbchen in den Vorhof eingehakt und ein weiteres an dem Ende von Stab a befestigt und sein Häkchen in den Ventrikel eingehakt. Dieselbe Doppelregistriervorrichtung wird gebraucht bei der Registrierung der Bewegung der beiden Ventrikel. In diesem Fall wird das Ende des vertikalen Stäbchens in die Längsfurche des Herzens eingesetzt. Die Oberfläche des Herzens soll mit physiologischer Kochsalzlösung stets feucht gehalten werden. Roy und Adami glauben, daß durch den Apparat keine Veränderung in der Kraft, der Häufigkeit oder dem Charakter des Herzschlags hervorgebracht wird. Sie sind ferner der Meinung, daß die Methoden, die Mac William, François Franck u. a. angewandt haben, bei denen eine mit einer Lufttransmission verbundene Pelotte leicht an die Oberfläche der Ventrikel angedrückt wird, fehlerhaft sind, weil leichte Veränderungen des Pelottendrucks zu starken Veränderungen der Herztätigkeit und des Blutdrucks führen. Die Unzuverlässigkeit dieser Methoden sei schon von Ludwig und Hoffa (1850) festgestellt worden. (Ich habe diese Stelle nicht auffinden können.)

Cushny und Matthews (1897) haben den Royschen Myokardiographen in etwas modifizierter Form angewandt.

Ich glaube, daß auch die Kritik, die Roy und Adami von ihrem Verfahren gegeben haben, ungenügend ist. Die Massen der beweglichen Teile des Apparates sind viel zu groß, als daß nicht Trägheitskräfte entstehen müßten, die zu einer wesentlichen Entstellung der Aufzeichnung oder zu

einer, die Herztätigkeit vollständig verändernden Rückwirkung (s. Bd. 1, 4) führen müßten. Warum Roy und Adami die äußerst komplizierte Aufzeichnung der Bewegungen verschiedener Herzabteilungen angewandt haben, ist schwer erfindlich. Sie hätten gerade so gut die Veränderung der Entfernung von Punkten der Herzwand von einem fixen Punkt aus feststellen, d. h. die Bewegungen der Herzwand gegenüber einem fixen Koordinatensystem registrieren können.

Eine interessante Vorrichtung zur Registrierung der relativen Bewegung einzelner Herzpunkte hat Rehfisch nach einem Vorschlag von R. du Bois Reymond konstruiert (1908).

Die einfache Hebelsuspension wird an Bequemlichkeit wesentlich übertroffen durch die Anwendung des — linearen — Lufttransmissions-Verfahrens. Man kann einen beliebigen Punkt der Herzwand mit dem Hebel einer als Aufnahmekapsel dienenden Mareyschen Trommel verbinden und dessen Bewegungen durch Lufttransmission auf eine zweite Kapsel übertragen. So werden die Bewegungen von verschiedenen Punkten der Herzwand viel bequemer registriert, als mit der einfachen Hebelsuspension, weil man die Fäden in fast beliebigen Richtungen ziehen lassen kann und man von der Lage der Registriertrommel unabhängig ist. Nach dem, was ich jetzt sagen kann, wird eine Mareysche Hebelkapsel den Anforderungen an die Genauigkeit der Registrierung, die hier zu erfüllen sind, nicht genügen. Ich habe deshalb die von mir konstruierten optischen Kapseln (s. Teil I, Kap. 15) verwendet. Über die Resultate, die mit dieser Methode erhalten worden sind, ist in einer vorläufigen Mitteilung von O. Hess referiert worden.

Schon Marey (1876) hat mit zwei Aufnahmekapseln die Bewegungen des rechten und linken Ventrikels gleichzeitig registriert. (S. Gscheidlen, Physiol. Methodik, S. 592.)

Bei Kaltblüterherzen sind öfter die Bewegungen einzelner Teile der Herzwand aufgezeichnet worden. Ich erinnere an die Untersuchung von Gaskell und besonders von Engelmann (1896), der den Froschventrikel bis auf schmale Muskelbrücken spaltete und die Bewegungen dieser einzelnen Teile registrierte. (S. Kap. 23.) Das gleiche ist in neuerer Zeit bei dem ausgeschnittenen Warmblüterherzen ausgeführt worden (S. Kap. 24).

C. Die Bewegung der Papillarmuskeln.

Eine Reihe von Untersuchungen beschäftigt sich mit den relativen Bewegungen der Papillarmuskeln. Es sind zunächst diejenigen von Roy und Adami (1890). Sie haben einen Drahthaken durch das Herzohr hindurchgeführt und in die Mitralklappe eingehakt. Den Haken verbanden sie mit ihrem Myokardiographen. Zu gleicher Zeit wurde mit diesem die Bewegung eines Punktes der Ventrikelwand registriert. Sie schlossen aus ihren Versuchen, daß die Bewegungen der Papillarmuskeln später beginnen und früher endigen als die Kontraktion der linken Ventrikelwand.

Fenwick und Overend (1891), Haycraft und Paterson (1896) haben die Bewegungen der Papillarmuskeln unmittelbar in dem ausgeschnittenen Herzen registriert. Das Herz wird so schnell wie möglich ausgeschnitten und geöffnet. Die Basis der Papillarmuskeln wird mit Nadeln fixiert und die Bewegung der Papillarmuskeln und der Ventrikelwand durch Hebel, die

mit Faden und Haken mit diesen Herzteilen verbunden sind, aufgeschrieben. Die ersten beiden Beobachter fanden, daß die Kontraktion der Papillarmuskeln sehr rasch nach der Zusammenziehung der Ventrikelwand stattfindet. Nach Haycraft und Paterson ist die Zusammenziehung bei kräftigen Herzen gleichzeitig, während sie mit der Verlangsamung des Rhythmus des absterbenden Herzens so aufeinanderfolgt, wie Roy und Adami angegeben haben.

Hering (1909 S. 227) verzeichnete die Aufeinanderfolge der Kontraktion eines Punktes der Herzwand — er wendete hier einen Punkt der Basis des rechten Ventrikels nach dem Conus arteriosus an — und des Papillarmuskels bei dem nach Langendorff durchbluteten Hunde-Herzen. Er ließ das Herz nach der Methode von Hering-Gross (1903) in situ. „Um den Papillarmuskel zu verzeichnen, ging ich zunächst so vor, daß ich am verbluteten, schlaglosen Herzen einen Längsschnitt in die Vorderwand des rechten Vorhofes machte, ungefähr von der Einmündungsstelle der oberen Hohlvene bis zur Atrioventrikulargrenze. Läßt man sich dann die Schnittränder auseinander halten, so sieht man die Papillarmuskeln der rechten Kammer und kann, wie ich es gewöhnlich getan habe, das Klappensegel mit den Sehnenfäden desjenigen Papillarmuskels, dessen Kontraktionen man verzeichnen will, wegschneiden, damit dieselben nicht bei der Verzeichnung stören. Ich benutzte immer den größten Papillarmuskel des rechten Herzens; es ist das der vordere (s. Fig. 23 m Pa), der sich übrigens hier und da fast oder auch vollständig in zwei Papillarmuskeln teilt ...... Vor der Einbindung der Aortenkanüle wurde in den Papillarmuskel das Suspensionshäkchen eingehakt, weil vor der Durchspülung des Herzens das Einhaken leichter vorzunehmen ist als am schlagenden Herzen. Sobald das Herz schlug, wurde auch die Basis des rechten Herzens in der Gegend des Conus mit einem Häkchen versehen. Meistens verzeichnete ich außerdem noch den rechten Vorhof und die Herzspitze."

m Pm
S_1
m Pa
S_2

Fig. 23.

Herz zur Beobachtung der Papillarmuskeln aufgeschnitten nach Hering. S_1 u. S_2 kleine Schnitte senkrecht zum rechten Schenkel des Atrioventrikularbündels, m Pm medialer, m Pa vorderer Papillarmuskel.

Nach einer ähnlichen Methode hat Saltzman (1908) die Kontraktionen der Herzspitze, der Basis und der Papillarmuskeln verzeichnet. Hering ist es ferner gelungen, (S. 232) die Kontraktionen dieser Teile bei dem natürlich durchströmten Hundeherzen zu verzeichnen. „Um zum Papillarmuskel zu gelangen, und ohne Reibung des Fadens am Herzen verzeichnen zu können, muß man mindestens den Vorhof anschneiden. Da ich nun bei den Versuchen an den Ringerherzen mich oftmals davon überzeugt hatte, daß man prinzipiell dieselben Resultate hinsichtlich des Intervalles P—C erhielt, ob die rechte Kammer intakt war oder ob ihre Vorderwand an der Basis zur Spitze aufgeschnitten war, wandte ich beim durchbluteten Herzen letzteres Verfahren an, zumal es auch das schnellste in diesem Falle ist.

Die Hunde werden nach der Narkose kuraresiert, der Thorax eröffnet, das Herz freigelegt und die Vagi durchschnitten. Jetzt werden die Suspensionshäkchen zurechtgelegt, sowie zwei Häkchen, um nach dem Schnitt die rechte und die linke Hälfte der Vorderwand des rechten Ventrikels zur Vermeidung der Fadenreibung etwas beiseite zu halten, und die Schere. Mit dieser schnitt ich zuerst die Carotis (in einigen Versuchen auch die untere Hohlvene) an, sodann erfolgte rasch der Schnitt in den Ventrikel; die Schnittenden werden darauf durch jene vom Assistenten gereichten Häkchen auseinander gehalten, sofort P und C (und in einigen Fällen auch die Herzspitzen) suspendiert und die Trommel in Gang gesetzt.

Den Schnitt in die Carotis bezw. in die Vena cava inferior schickte ich nur deswegen voraus, weil beim Aufschneiden des Ventrikels das Gesichtsfeld für den Papillarmuskel sonst zu unklar wurde, indem sich alles mit Blut anfüllte".

Hering fand, daß sich der Papillarmuskel stets vor dem Conus kontrahiert. Ohne Zweifel ist die Kritik an dem Roy und Adamischen Verfahren, die von anderen und von Hering geübt worden ist, berechtigt. Aber immerhin sind die Resultate, wie auch die Beobachtungen von Saltzman zeigen, noch nicht ganz eindeutig. Eine weitere Ausbildung der Methode und eine nähere Kritik erscheint wohl notwendig. Vergl. hierzu auch die Methoden von Chauveau (1899 und 1900), die in Kap. 30 behandeltwerden. Chauveau hat aus seinen Beobachtungen den Schluß gezogen, daß die „Intersystole" durch die Papillarmuskel bedingt wird.

Baxt 1878. Die Verkürzung der Systolenzeit durch den N. accelerans cordis. Du Bois Reymonds Arch. S. 123.
Cushny and Matthews 1897. On the effects of electrical stimulation of the mammalian heart. Journ. of physiol. XXI, p. 213.
Engelmann 1896. Über den Einfluß der Systole auf die motorische Leitung in der Herzkammer, mit Bemerkungen zur Theorie allorhythmischer Herzstörungen. Arch. f. d. ges. Physiol. LXII, p. 543.
Fenwick and Overend 1891. Report on the contraction of the papillary muscles. Brit. med. Journ. Bd. I, p. 1117.
Fischel 1897. Über Tonusänderungen und die anderen graphisch an den vier Abteilungen des Säugetierherzens bei elektrischer Reizung desselben zu ermittelnden Erscheinungen. (Institut f. exper. Pathol. Prag.) Arch. f. exper. Pathol. XXXVIII, p. 228.
François Franck 1877. Trav. du lab. du Marey III, p. 316.
Gross 1903. Die Bedeutung der Salze der Ringerschen Lösung für das isolierte Säugetierherz. Pflügers Archiv Bd. 99, S. 264.

Haycraft and Paterson 1896. The time of contraction of the papillary muscles. Journ. of physiol. XIX, p. 262.
Hering 1907. Über den Beginn der Papillarmuskelkontraktion und seine Beziehung zum Atrioventrikularbündel. (Vorläufige Mitteilung.) Zentralbl. Physiol. Bd. 21, p. 719.
Hering 1909. Über den Beginn der Papillarmuskelaktion und seine Beziehungen zum Atrioventrikularbündel. Arch. f. Physiol. 126, S. 225.
Hess 1908. Entstehung der Herztöne. Deutsche med. Wochenschrift, Jahrg. 34 p. 1611—14.
Hürthle 1891. Beiträge zur Hämodynamik. (Physiol. Institut Breslau.) Arch. f. d. ges. Physiol. XLIX. p. 29.
Jarotzky 1898. Ein unmittelbar vom Herzen aufgenommenes Kardiogramm. Zeitschr. f. klin. Med. XXXV. p. 301.
Knoll 1895. Graphische Versuche an den vier Abteilungen des Säugetierherzens. Sitzungsber. d. österr. Akad. Math.-naturw. Cl., 3. Abt., CIII, p. 298.
Ludwig und Hoffa 1850. Einige neue Versuche über Herzbewegung. Zeitschr. f. rat. Medizin. 9, S. 107.
Marey 1876. La méthode graphique.
Rehfisch 1908. Die Amplitude der Herzkontraktionen. Arch. Anat. Physiol. physiol. Abt. 1908 p. 1—22.
Roy and Adami 1890. Heartbeat and pulsewave. Practitioner, London.
Roy and Adami 1892. Contributions to the physiology and pathology of the mammalian heart. (Pathol. Labor. Cambridge.) Philos. Transact. Roy. Soc. CLXXXIII., p. 199.
Saltzman 1908. Über die Fortpflanzung der Kontraktion im Herzen mit besonderer Berücksichtigung der Papillarmuskeln. Skandinav. Arch. f. Phys. 1908, Bd. 20, p. 233.
Mac William 1887. Fibrillar contraction of the heart. Journ. of physiol. VIII., p. 296.

Kapitel 28.

Registrierung der durch die Herztätigkeit erzeugten Bewegungen des Thorax und der benachbarten Organe.

Der Spitzenstoß.

Die Bewegungen des Herzens übertragen sich auf die ihm benachbarten Teile, auf die Brustwand, auf die Lungen und die in ihnen befindliche Luft, die Leber, den Magen und die Speiseröhre. Registriert man die Bewegungen dieser Teile, so wird man zugleich immer die — durch ihr Dazwischentreten modifizierte — Herzbewegung mit registrieren, so z. B. wenn man den Nasenrachenraum mit einer Mareyschen Kapsel oder einer optischen Kapsel verbindet. Hier erhält man die sogenannte kardio-pneumatische Bewegung. Die wichtigste derart mitgeteilte Bewegung ist diejenige der Brustwand. An einer Stelle, dort, wo die Herzspitze in der Nähe der Brustwand liegt, ist die Bewegung besonders ausgeprägt, sie führt dort zur Erscheinung des Spitzenstoßes. Man kann durch Aufzeichnung dieser Bewegungen Aufschlüsse über die Herzbewegung selbst erhalten. Das Verfahren der Registrierung dieser Bewegung nennt man am besten Kardiographie, wobei man immer zu berücksichtigen hat, daß es sich um Bewegungen handelt, die auf andere Organe übertragen worden sind. Ferner muß man bedenken, daß die Rückwirkung der Apparate auf die Herzbewegung möglichst hintan gehalten werden muß. Das Kardiogramm der Brustwand, Lungen etc. stellt also im idealen Sinn eine Kurve dar, welche diese Organe unter der

Einwirkung des Herzens ausführen, ohne daß die registrierenden Instrumente eine wesentliche Änderung dieser Bewegung erzeugen.

Zur Demonstration des Spitzenstoßes sind einige Methoden ausgebildet worden (von Landois 1870 die empfindliche Flamme, ebenso von Gerhardt 1875 und Klemensiewicz 1875), die in Gscheidlen physiol. Methodik S. 590 angegeben sind.

Die kardiomotorischen Erscheinungen können durch einfache Hebelapparate aufgeschrieben werden. Dies Verfahren ist natürlich äußerst unbequem, weil es sehr schwer ist, den Hebel in die richtige Stellung zu der Registriertrommel zu bringen. Wird der Hebel zu lang gemacht, so wird sein Trägheitsmoment übermäßig vergrößert. (S. Bd. I, 4 „Hebel".) Man könnte vielleicht versuchen, solche Hebelapparate durch einen Faden mit

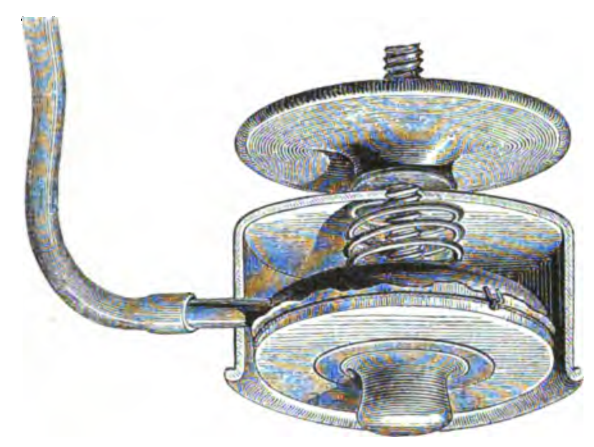


Fig. 24.
Kardiograph nach Marey. Beschreibung S. 188.

der Brustwand zu verbinden, wie es bei dem Suspensionsverfahren geschieht. Marey (La circulation S. 146) hat den Sphygmographen verwendet, weil er dessen Angaben für absolut zuverlässig hielt, ebenso Landois (1866).

Alle diese Unbequemlichkeiten fallen weg, wenn man das Lufttransmissionsverfahren benutzt, wie dies ja auch fast durchweg geschehen ist. An Güte steht diese Methode unter allen Umständen etwas hinter der direkten Registrierung zurück, aber die Bequemlichkeit seiner Anwendung ist so groß, daß man die Verminderung dieser Leistungen in den Kauf nehmen wird. Unter Verwendung von optischen Hilfsmitteln wird die Güte des Verfahrens so hoch, daß mit ihm alle Bewegungen der Brustwand, selbst diejenigen, welche die akustischen Phänomene wie die Herztöne erzeugen, aufgenommen werden können. (Frank.)

Eine ganze Reihe von Apparaten ist konstruiert worden zur Aufnahme des Kardiogramms mit dem gewöhnlichen Lufttransmissionsverfahren (s. a. Kronecker 1901). Diese Apparate bestehen sämtlich aus Aufnahmekapsel, Schlauchverbindung und gewöhnlicher Registrierkapsel. Die Verschiedenheiten liegen nur in der Konstruktion der Aufnahmekapsel. Ich bilde hier

die Aufnahmekapsel ab, wie sie nach verschiedenen Vorarbeiten (s. hierüber Gscheidlen physiolog. Methodik S. 601) Marey empfohlen hat (Fig. 24), und weiter das Instrument von Edgren (Fig. 25). Die Mareysche Aufnahmekapsel besteht aus einer Trommel, auf deren Membran eine Pelotte aufgeklebt ist. Die Trommel steht durch einen Schlauch mit der Registrierkapsel in Verbindung und wird an dem Boden eines Kästchens durch eine Mikrometerschraube festgehalten. Das Kästchen wird mit seiner Öffnung

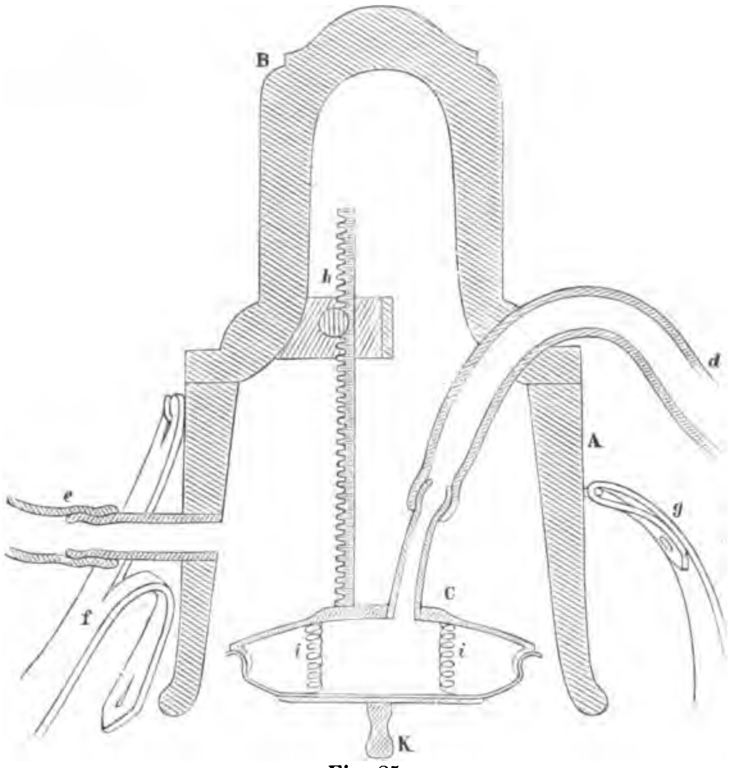


Fig. 25.
Kardiograph nach Edgren.

auf die Brustwand aufgesetzt und die Trommel so lange mit der Mikrometerschraube verschoben, bis eine gleichmäßige Kurve aufgezeichnet wird. Das Kästchen dient also nur als Halter für die Kapsel.

Die Vorrichtung von Edgren (1889 Abbildung S. 74) unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Mareyschen Apparat. Bei der Aufnahmetrommel ist nur die Platte mit der Pelotte durch zwei Spiralfedern aus der Trommel herausgedrängt. Wenn die Pelotte auf die Brustwand aufgesetzt wird, drückt sie also nicht allein mit der elastischen Kraft der Membran (zu bestimmen nach Frank „Statik"), sondern auch mit der Kraft der Spiralfeder. Ferner enthält die äußere, im wesentlichen als Stütze dienende Kapsel ein Seitenrohr, zum Auskultieren der Schallphänomene. Einfacher

ist die Aufnahmekapsel des Brondgeestschen (1873) Pansphygmographen s. Gscheidlen, Physiol. Methodik. S. 603, 604). S. a. Kap. 17.

Es ist wohl nicht nötig, die vielen verschiedenen Abänderungen der Mareyschen Aufnahmekapseln zu beschreiben. Ich zitiere hier nur die Abhandlung von Pompilian (1899 und 1902) und bemerke, daß Piéron (1907) versucht hat, durch eine besondere Aufhängevorrichtung die störende Wirkung der Respirationsbewegungen auf die Registrierung auszuschließen. Nach den von ihm veröffentlichten Kurven konnte ich nicht den Eindruck gewinnen, daß ihm dies gelungen ist. Bardiers Kardiograph (1897) ist eine Modifikation des Mareyschen mit feiner Einstellbarkeit für kleine Tiere: Meerschweinchen und Kaninchen.

Vielfach hat man auch einen einfachen Trichter als Aufnahmekapsel verwendet. Nach einer Bemerkung von Marey (La circulation S. 146) scheint dies schon Buisson 1862 getan zu haben. Von Klinikern wird diese Methode vielfach angewandt; es wird dabei der Trichter mit der Hand auf die Brustwand gestützt. Marey wendet sich gegen diese Methode und meint, daß man damit falsche Aufzeichnungen erhielte, weil er mit seinem Sphygmographen andere Kurven erhalten hat. Nun ist aber zweifellos der Sphygmograph ein durchaus ungeeignetes Instrument, um kardiographische Kurven zu erhalten. Selbst wenn man davon absieht, daß speziell der Mareysche Sphygmograph, nicht wie dies Marey ganz allgemein vorausgesetzt hat, treue Kurven der Bewegung, sondern durch die Trägheit des Instrumentes stark entstellte Kurven liefert. Mit dem Sphygmographen werden im wesentlichen Druckkurven aufgezeichnet. Marey, der sehr unklare Vorstellungen über das Wesen des Kardiogramms hatte, beging dann den Fehler, daß er diese Kurven als normale ansah, und nun suchte, ein Instrument zu bilden, das ähnliche lieferte, statt daß er eine mechanische Analyse seines Verfahrens vorgenommen hätte. Ganz ähnliche vorgefaßte Meinungen haben Hürthle (1891) zur Unterscheidung der typischen und atypischen Kardiogramme geführt. (S. 94.) Bis nicht weitere Untersuchungen eine nähere Analyse des Verfahrens ermöglichen, glaube ich, daß das Verfahren von Buisson den anderen vorzuziehen ist, nämlich einen Trichter (n. Buisson entonnoir) auf die Brustwand aufzusetzen, dessen Hals mit einer Mareyschen Kapsel verbunden wird. Der Trichter muß nur genügend tief sein, daß die Haut der Brustwand sich nicht bis zum Verschluß der Trichteröffnung vorstülpen kann.

Daß man durch Verwendung optischer Hilfsmittel bei der Konstruktion der Registrierkapsel zu wesentlich größeren Leistungen des Apparates und weiter zu überraschend neuen Ergebnissen kommen wird, haben mich meine Untersuchungen gelehrt. Eine vorläufige Veröffentlichung hat in dem Vortrag von Hess (1908) stattgefunden.

Die Bewegung des Herzens teilt sich auch noch anderen Organen mit und kann an diesen Stellen registriert werden. Ich erinnere hier nur an die kardiopneumatische Bewegung, an die Kardiogramme, die bei der Druckregistrierung des Magens erhalten werden, ferner daran, daß man die Bewegungen des Herzens registrieren kann, wenn man einen Stab durch eine Vene in das Herz einführt und ihn mit einem Hebel verbindet, (Frank 1897). (Über die Hürthlesche Registrierung 1891. s. das vorhergehende Kapitel.)

In der neueren Zeit ist von Minkowski (1906/7)[1]) und Rautenberg (1907 s. auch Joachim 1907) die Herzbewegung von der Speiseröhre aus registriert worden. Rautenberg beschreibt die Methode folgendermaßen: S. 253: „Ein dünnes französisches Bougie (von 60 cm Länge und 5 mm Durchmesser) wird an seinem unteren Ende, nachdem die Spitze abgeschnitten und das Ende genügend geglättet ist, mit einem dünnen Gummiballon versehen, so daß dieser in schlaffem Zustande das Ende der Sonde in einer Länge von ca. 4 cm überragt. Die Verbindungsstelle wird mit Blumentaffet überzogen. Sie wird durch einen Gummischlauch von ca. 40 cm Länge mit der Luftkapsel verbunden. Durch einen in die Schlauchverbindung eingesetzten T-Hahn kann die Gummiblase nach Belieben mit Luft gefüllt werden. Die Sonde wird zunächst bis in den Magen geführt, der Ballon aufgeblasen, dann wird die Sonde soweit zurückgezogen, bis man den Widerstand an der Cardia fühlt. An der Sonde ist eine Zentimeterteilung angebracht, so daß sie in jeder beliebigen vorausbestimmbaren Entfernung von der Cardia befestigt werden kann."

Die Methode soll hauptsächlich dazu dienen, die Bewegungen des linken Vorhofs zu registrieren.

Bardier 1897. Cardiographie du lapin et du cobaye. Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 704.
Brondgeest 1873. De pansphygmograph S. Kap. 17.
Buisson 1862. Thèse p. 23.
Edgren 1889. Kardiographische und sphygmographische Studien. Skandinav. Arch. f. Physiol. I, p. 67.
Frank 1897. Verlangsamung und Beschleunigung des Herzschlages. Sitzungsber. d. Ges. f. Morphol. u. Physiol. München.
Fredericq 1908. Historisch-kritische Bemerkungen etc. Zentrbl. f. Physiol. 22. S. 297.
Hess 1908. Siehe Kapitel 27.
Hürthle 1891. Beiträge zur Hämodynamik. (Physiol. Institut Breslau.) Arch. f. d. ges. Physiol. XLIX, p. 29.
Joachim 1907. Über die Registrierung der Kontraktionen des linken Vorhofs bei einem Fall von Adams-Stokesscher Krankheit. Berliner klin. Wochenschr. Jahrg. 44, p. 215.
Kronecker 1901. Des méthodes servant à déterminer les manifestations extérieurs de l'activité du coeur. C. R. Soc. Biol. p. 390.
Landois 1866. Neue Bestimmung der zeitlichen Verhältnisse bei der Kontraktion der Vorhöfe, der Ventrikel, dem Schluß der Semilunarklappen, der Diastole und der Pause am Herzen des Menschen. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. 4 S. 177.
Landois 1870. Das Gassphygmoskop. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. S. 435.
Marey 1865. Études physiologiques sur les caractères graphiques des battements du coeur et des mouvements respiratoires et sur les différentes influences qui les modifient. Journ. de l'Anat. et de la Physiol.
Minkowski 1906. Die Registrierung der Herzbewegungen am linken Vorhof. Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 32. p. 1248.
Minkowski 1907. Zur Deutung von Herzarhythmien mittels des ösophagealen Kardiogramms. Zeitschr. klin. Med. B. 62, p. 371.
Piéron 1907. Une méthode de cardiographie humaine évitant les déformations respiratoires. C. R. Soc. Biol. I, p. 141.
Pompilian 1899. Nouveau cardiographe clinique. C. R. Soc. Biol. p. 702.
Pompilian 1902. Un nouveau cardiographe et un nouveau sphygmographe à transmission. C. R. Soc. Biol. p. 490.

1) Fredericq (1908) macht darauf aufmerksam, daß diese Methode schon im Jahre 1887 von ihm angegeben worden ist.

Rautenberg 1907. Resultate von Untersuchungen über Vorhofpulsation beim Menschen (79. Vers. deutsch. Naturf. u. Ärzte Dresden), München. med. Wochenschr. Jahrg. 54, p. 2113.
Rautenberg 1907. Die Registrierung der Vorhofpulsation von der Speiseröhre aus. Deutsch. Arch. klin. Med. Bd. 91. p. 251.

Kapitel 29.

Fixation der Herzform in Diastole und Systole.

Da es sehr schwer ist, die Formveränderungen des Herzens während seiner Tätigkeit mit dem Auge zu verfolgen, hat man versucht, wenigstens einzelne Phasen der Formveränderung durch besondere Kunstgriffe dauernd festzuhalten. Die ersten derartigen Versuche rühren von Hesse (1880) her, der unter der Leitung von Ludwig gearbeitet hat. (Über ältere Präparationsmethoden vergl. Gscheidlen physiolog. Methodik S. 559. Nr. 8.) Hesse machte von den unter dem Druck einer etwa 150 mm hohen Blutsäule gefüllten Kammern eines eben aus dem Körper herausgeschnittenen noch reizbaren Hundeherzens einen Gipsabguß. Dann rief er durch Eintauchen des entleerten Herzens in eine auf 50° C. erwärmte gesättigte Lösung von doppeltchromsaurem Kali eine maximale Kontraktion (Wärmestarre) hervor, und zwar zogen sich die Muskeln dabei ohne irgend einen Widerstand (S. 333) zusammen. Vorher hatte er durch zweckentsprechende Marken die verschiedenen Teile der Kammern erkenntlich gemacht. (Nach Tigerstedt, Kreislauf S. 73.)

Haycraft und Paterson (1896) suchten die Schwierigkeit, das Herz in Systole zu fixieren, dadurch zu überwinden, daß sie das Tier durch Einspritzen von Sublimat in die Jugularvene töteten. Das Sublimat bringt eine ähnliche Starre des Herzens wie die von Hesse angewandte hohe Temperatur hervor. Sie fertigten dann Gefrierschnitte der so getöteten Tiere an, ebenso wie sie das mit anderen ausführten, bei denen das Herz in diastolischer Stellung bei voller Blutfüllung bei dem Tode sich befand.

Loeb und Magnus (1903) brachten das Herz in systolische Stellung durch Vergiftung des nach der Langendorffschen Methode durchbluteten Herzens mit Digitalis. Zur Feststellung der diastolischen Form des Herzens benutzten sie solche Herzen, die bei der Durchblutung nicht zum Schlagen zu bringen waren. Beide Gruppen wurden fixiert, indem sie von der Aorta aus durch die Koronargefäße mit 4% Formalinlösung ausgespritzt und dann in derselben Flüssigkeit mindestens 5 Tage lang gehärtet wurden. Die Herzen wurden dann durch passende Schnitte zerlegt.

Daß diese Methoden im wesentlichen nur Fingerzeige für die experimentelle Untersuchung der Formveränderung des lebenden Herzens abgeben können, ist klar. Auf eine Reihe von Mängeln ist von Tigerstedt (Lehrbuch S. 73) aufmerksam gemacht worden. Der Aufschluß über die bei der Herztätigkeit wirklich stattfindenden Formveränderungen kann nur durch die in den Kap. 23, 24, 27 und 28 beschriebenen Methoden geliefert werden.

Mit einigen histologischen Untersuchungsmethoden hat man versucht, den Faserverlauf der Herzmuskulatur festzustellen. So hat Krehl

(1891) unter der Leitung von Ludwig die Faserung durch Anwendung von sauerem Alkohol aufgelockert und zur Darstellung gebracht. Es ist diejenige Arbeit, auf die sich vorzugsweise unsere Kenntnis von dem Faserverlauf stützt.

Haycraft and Paterson 1896. The changes in shape and in position of the heart during the cardiac cycle. Journ. of physiol. XIX, p. 496.
Hesse 1880. Beiträge zur Mechanik der Herzbewegung. Arch. f. Anat. und Entwicklungsgeschichte p. 344.
Krehl 1891. Beiträge zur Kenntnis der Füllung und Entleerung des Herzens. Sächs. Ges. d. Wiss. XVII, p. 346.
Loeb und Magnus 1903. Die Form der Kammerhöhlen des systolischen und diastolischen Herzens. (Pharmakol. Institut Heidelberg.) Arch. für exper. Pathol. 50, p. 11.

Kapitel 30.

Die Bewegungen der Klappen. Operationen an den Klappen.

A) Beobachtung am lebenden Herzen.

Über das Spiel der Klappen bei dem lebenden Herzen Aufschluß zu erhalten, ist natürlich nicht leicht. Am ersten wird man noch die Feststellung der Druckschwankungen in den verschiedenen Herzabteilungen, Vorhof, Ventrikel und Aortenwurzel, zur Bestimmung der zeitlichen Verhältnisse der Klappenbewegung benutzen können, wie dies in den Arbeiten von Fredericq (1888), Krehl (1889) und Porter (1892) geschehen ist. Wenn eine Druckdifferenz entgegengesetzt der Strömungsrichtung des Blutes auftritt, so ist das ein Anzeichen, daß die Klappen geschlossen sind. Aber so ganz bestimmt läßt sich dieser Moment auch aus diesen Versuchen nicht entnehmen, wenn nicht besondere Überlegungen zu Hilfe kommen. Im Moment des Klappenschlusses treten meistenteils Schwingungen auf, die durch die Trägheitskräfte veranlaßt werden. Sie müssen jedenfalls bei der Bestimmung des Zeitpunktes des Klappenschlusses berücksichtigt werden.*)

Daß Chauveau und Faivre (1856) das Spiel der Klappen mit einem in den Vorhof eingeführten Finger kontrollieren wollten, ist schon in Kapitel 26 erwähnt worden.

Chauveau (1894, 1899 und 1900) hat versucht, die Klappenbewegung durch mechanische Mittel, Ampullen, gegen welche die Klappen beim Schließen drücken, und weiterhin elektromagnetisch zu registrieren. Die Resultate, die er erhalten hat, lassen nicht die Überzeugung aufkommen, daß die Methode vollständig zuverlässig ist.

Hering (1904, S. 6) macht darauf aufmerksam, daß man an dem isolierten schlagenden Herz das Klappenspiel der Tricuspidalis sehr gut beobachten kann, wenn man den Vorhof wegschneidet und das Herz mit Ringerscher Salzlösung speist, da Blut nicht genügend durchsichtig ist.

Über die Beobachtung der Papillarmuskelbewegung vergl. Kap. 27.

---

*) Hürthle (1891) hat ein besonderes Differentialmanometer, das in dem ersten Teil Kap. 10 behandelt ist, für diesen Zweck konstruiert.

B) Beobachtung am toten Herzen und am Modell.

An Modellen hat man sehr oft die Klappenbewegung beobachtet, so Ceradini (1871) bei seinen Studien über die Bewegung der Semilunarklappen der Pulmonalis, weiter Sandborg und Müller (1880). Eine besonders zweckmäßige Vorrichtung zur Demonstration des Spiels der venösen und

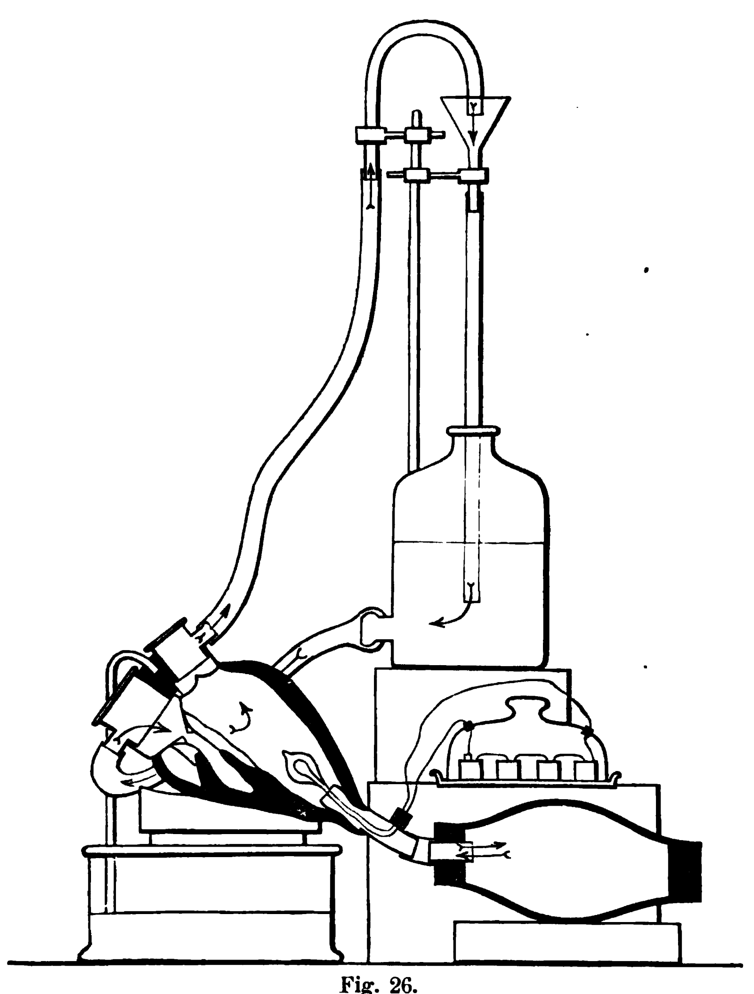


Fig. 26.
Demonstration des Klappenspiels am Ochsenherzen nach Gad.

arteriellen Klappen hat Gad (1886) ausgeführt. Mit ihr läßt sich bei einem Ochsenherzen in ausgezeichneter Weise der Wechsel in der Stellung der Klappen während der Hauptphasen der Herztätigkeit demonstrieren. Die Gadsche Anordnung vereinigt gewissermaßen die älteren Apparate von Lower (1671), Baumgarten (1843), Rüdinger (1857), Ceradini und L. Fick 1849, die S. 565—571 in der physiologischen Methodik von Gscheidlen beschrieben sind (s. auch Mai 1906).

„In den linken Vorhof eines möglichst großen Ochsenherzens ist eine zylindrische Messingkanüle von 7 cm Durchmesser und 5 cm Länge gebunden. Auf das freie Ende der Kanüle ist eine planparallele Glasplatte wasserdicht aufgeschraubt. Seitlich an der Kanüle befindet sich ein Tubulus von 1,5 cm Durchmesser und 2,6 cm Länge. Eine ebenso eingerichtete Kanüle von 5 cm Durchmesser ist in die Aorta gebunden. Durch den seitlichen Tubulus kommuniziert die Vorhofskanüle mittels eines weiten kurzen Kautschukrohres mit der nahe dem Boden befindlichen Tubulatur einer 5 Liter-Flasche, welche als Druckflasche so aufgestellt und mit Wasser gefüllt wird, daß das Wasser-Niveau sich etwa 40 cm über dem Vorhof befindet.

Auf den seitlichen Tubulus der Aortenkanüle ist ein 1 Meter langes Kautschukrohr aufgebunden, welches gerade in die Höhe zu dem einen Schenkel eines U-förmigen Glasrohres führt. Der freie Schenkel dieses Rohres mündet über einem Trichter, von dem ein Kautschukrohr bis unter das Niveau des Wassers in der Druckflasche reicht. In die über die rechte Herzkammer hervorragende Spitze des linken Ventrikels ist ein 2 cm weites, vorne gewulstetes Glasrohr eingebunden, welches auf der anderen Seite mit einem geräumigen dickwandigen Kautschukballon kommuniziert. Durch periodisches Zusammendrücken des Kautschukballons kann man einen regelmäßigen, periodisch unterbrochenen Flüssigkeitsstrom von der Druckflasche durch das linke Herz, Steigerohr, Trichter und zurück zur Flasche unterhalten. Es ist erforderlich, daß der Kautschukballon beim Nachlassen des Druckes eine kräftige Saugwirkung entfalte. Ist dies der Fall und sind alle künstlichen Verbindungen genügend weit und kurz, so funktionieren die Klappen ausgezeichnet. Die planparallelen Glasscheiben an den freien Enden der Vorhofs- und Aortakanüle gestatten bei zweckmäßig auffallendem Lichte eine schöne Übersicht über die Vorgänge bei Öffnung und Schluß der Klappen. Wesentlich verbessert werden aber die optischen Bedingungen für die Beobachtung durch eine kleine elektrische Glühlampe, welche durch das Loch in der Spitze des linken Ventrikels, vor Einführung der betreffenden Kanüle, in den Hohlraum desselben eingebracht ist, und deren Leitungsdrähte durch diese Kanüle und ein an derselben befindliches Seitenrohr nach außen geführt sind.

Die intraventrikuläre Beleuchtung macht nicht nur die Klappensäume deutlich sichtbar, sondern gestattet auch die Betrachtung der inneren Ventrikelwand, der Papillarmuskeln und der Chordae tendineae.

Um einen deutlichen Eindruck von den Einzelheiten zu gewinnen, muß man das Auge ziemlich nahe an die Glasplatte der einen oder anderen Kanüle in die Verlängerung der Achse derselben bringen. Da die beiden Achsen beträchtlich divergieren und da man die natürliche Lage der Kanüle nicht ändern darf, wenn man das Klappenspiel nicht stören will, so ist es nicht leicht, einen Standpunkt zu gewinnen, von dem aus man das Spiel beider Klappensysteme gleichzeitig übersehen kann. Dies ist aber wünschenswert, um den Eindruck des Alternierenden im Klappenspiel zu erhalten. Durch ein System von drei Planspiegeln wird der Anforderung genügt, so daß man die Einzelheiten beim Hineinblicken in die einzelnen Kanülen, das Gesamtspiel beim Aufblick auf den einen Spiegel beobachten kann.

Die Arteria pulmonalis und der rechte Vorhof sind auf je einen passenden Kork abgebunden. In dem Kork des letzteren steckt eine nach unten gebogene Glaskanüle, welche dem durch den Koronarkreislauf in das rechte Herz gelangten Wasser freien Abfluß in das große Glasgefäß gestattet, über dem das Herz aufgestellt ist, und welches auch das Wasser auffängt, das aus kleinen Gefäßen, die bei der Präparation etwa eröffnet sind, ausfließt. Zu verhindern ist der Übertritt von Wasser in das rechte Herz nur schwer, wegen der durch die Foramina Thebesii in Vorhof und Ventrikel ausmündenden Venen des Koronarkreislaufs.

Nach der Demonstration werden die Glasplatten von den Kanülen abgeschraubt, die Kautschukröhren von den Tubulis entfernt und das Herz mit den Kanülen in 10% wäßriger Chlorallösung aufgehoben. In letzterer erhalten sich die Klappen weich und elastisch, so daß die Demonstration an demselben Herzen jederzeit wiederholt werden kann.

Die beigegebene Skizze ist ganz schematisch gehalten. Aus Rücksicht auf Einfachheit der Zeichnung ist das Herz so dargestellt, als ob beide Kanülen übereinander lägen, während in Wirklichkeit das Herz am besten mit nebeneinander liegenden Kanülen gelagert wird."

C) Operationen an den Klappen.

Bei einer Reihe von Untersuchungen wurden die Klappen zerstört, um die Kreislaufverhältnisse unter diesen pathologischen Umständen zu untersuchen. Becker, Cohnheim, Rosenbach (1878), Goddard (1879), de Jager (1883), ferner Einthoven und Geluk (1894, S. 633) haben die Aortenklappen durchstoßen. de Jager beschreibt S. 217 die Operation folgendermaßen: „Danach wurde ein langer dünner Stab in die rechte Carotis vorsichtig geschoben, bis dieser gegen die Aortaklappen stieß und dann die Klappen durchbohrte."

Klebs (1876) hat die Zipfelklappen mit einem eigenen Instrument, dem Valvulotom durchschnitten. Man führt das Instrument bei Versuchen an der Mitralis durch die Carotis dextra, bei Versuchen an der Tricuspidalis durch die rechte Jugularvene in den entsprechenden Ventrikel möglichst tief ein. Ist man in denselben gelangt, was man an den starken Pulsationen, welche dem Instrumente mitgeteilt werden, erkennt, so schraubt man das Messerchen vor und versucht durch verschiedene Drehungen und Bewegungen des Instrumentes einen Klappenzipfel oder einen Sehnenfaden zu fassen. Wenn dies gelungen ist, fühlt man beim vorsichtigen Zurückziehen des Valvulotoms einen Widerstand, schraubt nun das Messerchen zurück, und zieht das Instrument hervor, wodurch natürlich das gefaßte Gewebe zerschnitten wird. Das Gelingen des Versuches kann man wiederum am Pulse oder durch Auskultation erkennen."

Moritz und ich haben in einer nicht veröffentlichten Versuchsreihe die Zipfel der Mitralis von den Sehnenfäden durch ein besonders konstruiertes Messerchen abgeschnitten. Es wurde von dem linken Herzrohr durch das Rohr eines kleinen Trokarts in den linken Ventrikel eingeführt. Es ist gekrümmt und an dem Ende geköpft. An der Innenseite der Krümmung ist es geschärft. Man kann unschwer das Messerchen so umdrehen, daß es sich mit einem Sehnenfaden verwickelt und ihn bei dem Zurückziehen durchschneidet. (S. a. Rihl 1908.)

Becker, Gräfes Archiv B. 18, I., p. 206.
Ceradini 1871. Der Mechanismus der halbmondförmigen Klappen. Leipzig.
Chauveau 1894. Inscription électrique des mouvements des valvules sigmoides déterminant l'ouverture et l'occlusion de l'orifice aortique. Compt. rend. d. l'acad. d. sciences. (CXVIII. S. 686.)
Chauveau 1899. La pulsation cardiaque extérieure et ses rapports avec les autres phénomènes du mécanisme du coeur. Arch. d. physiol. et d. pathol. génér. p. 785.
Chauveau 1899. Inscription électrique des mouvements valvulaires et l'occlusion des orifices du coeur. Arch. d. physiol. et d. pathol génér. p. 377.
Chauveau 1900. L'intersystole du coeur etc. Arch. d. physiol. et d. pathol. génér. p. 125.
Cohnheim, Vorlesungen über allgemeine Pathologie II. Aufl. p. 38.
Einthoven und Geluk 1894. Die Registrierung der Herztöne. (Physiol. Labor. Leyden.) Arch. f. d. ges. Physiol. LVII, p. 617.
Fredericq 1888. Recherches sur la circulation et la respiration. La pulsation du coeur chez le chien. Arch. d. biologie VIII. p. 497.
Gad 1886. Demonstration des Klappenspiels im Ochsenherzen mittels intraventrikulärer elektrischer Beleuchtung. (Berliner phys. Ges.) Arch. f. Anat. u. Physiol. p. 188.
Goddard 1879. Kunstmatig opgewekte gebreken aan het ostium aortae. Acad. Proefschrift Leiden.
Hering 1904. Die Verzeichnung des Venenpulses am isolierten, künstlich durchbluteten Säugetierherzen. Arch. f. d. ges. Physiol. 106, p. 1.
Hürthle 1891. Beiträge zur Hämodynamik (Physiol. Institut Breslau) Arch. f. d. ges. Physiol. XLIX, p. 29.
de Jager 1883. Über das Verhältnis des arteriellen Blutdrucks bei plötzlicher Insuffizienz der Aortenklappen. Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI, p. 215.
Klebs 1876. Prager med. Wochenschrift II.
Krehl 1889. Untersuchungen über den Druckablauf in den Herzhöhlen und den Arterien. Verhandl. d. Kongr. f. inn. Med. S. 289.
Mai 1906. Ein Beitrag zum Mechanismus der Aortenklappen. Zeitschr. klin. Med. Bd. 58, S. 393—401.
Porter 1892. Researches on the filling of the heart. Journ. of physiol. XIII, p. 513.
Rihl 1908. Demonstration experimentell erzeugter Herzgeräusche. Med. Klinik. 4. S. 475. München. med. Wochenschr. 55 S. 260.
Rosenbach 1878. Über artifizielle Herzklappenfehler. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. IX. p. 1.
Sandborg und Worm Müller 1880. Studien über den Mechanismus des Herzens. Arch. f. d. ges. Physiol. XXII, p. 408.

Kapitel 31.

Kinematographie der Herzbewegung.

Die Bedingung für die Aufnahme eines idealen Kardiogramms, nämlich daß der aufnehmende Apparat keine Rückwirkung auf die Tätigkeit des Herzens ausübt, wird am besten durch die Photographie seiner Bewegungen, die Kinematographie, erfüllt. Solche Aufnahmen sind zuerst von Thompson (1886) bei dem Froschherzen vorgenommen worden. Er hat Serienphotographien von dem schlagenden bloßgelegten Froschherzen aufgenommen, oder wie man jetzt sagen wird, eine Kinematographie der Herzens ausgeführt. Die Reproduktion seiner Aufnahmen in der Abhandlung von Zoth (1893) zeigen, daß sie einen wissenschaftlichen Wert nicht haben. Mit dem gewohnten technischen Geschick hat Marey (1892) das schlagende, ausgeschnittene

Schildkrötenherz in seinen verschiedenen Phasen photographiert. Da das Herz eine dunkle Farbe hat und nur ungenügend auf die Platte wirkt, hat er es mit weißer Wasserfarbe angestrichen. (S. 487.) Zoth (1893) hat verschiedene Methoden zur Festhaltung der einzelnen Momente der Bewegung des in situ schlagenden Froschherzens benutzt. Einmal hat er etwa 50 Momentaufnahmen innerhalb fünf Viertelstunden, ohne auf die einzelnen Momente der Herztätigkeit zu achten, wahllos photographiert. An dem Herzen selbst hat er Marken und weitere feststehende in der Umgebung des Herzens angebracht. Er hat diese Aufnahmen geordnet und glaubt durch sie eine fortlaufende Reihe erhalten zu haben. Die Mängel dieser Methode, die von Zoth teilweise selbst besprochen worden sind, liegen auf der Hand. Weiter hat Zoth ein Verfahren angewandt, das sich sehr eng an die Methode von Marey, mit der er von sich bewegenden Personen Serienaufnahmen machte, anschließt. Zoth legte auf einzelne Punkte der Herzoberfläche kleine Stückchen von rein weißem Glanzpapier und ordnete sie so, daß sie etwa in der Richtung der Längsachse lagen. Die Herzoberfläche wurde durch das Licht eines Heliostaten beleuchtet. Das Tier, das auf einem Brettchen festgebunden war, wurde auf einem kleinen Wagen, etwa senkrecht zur Linie dieser Papierblättchen, bewegt. Die Aufnahmen erfolgten auf einer feststehenden photographischen Platte. Der Lichtstrahl wurde durch die Zähne eines rotierenden Rades zehnmal in der Sekunde unterbrochen, so daß also in einer Sekunde 10 Aufnahmen von $^1/_{100}$ Sekunde Expositionszeit erfolgten. Das Resultat dieser Aufnahmen sind mehrere übereinander liegende Kurven, die entsprechend den Unterbrechungen des Lichtstrahls Lücken aufweisen. Zu weiteren Schlüssen hat Zoth diese Resultate nicht benutzt.

Hinzufügen will ich noch, daß Braun (1898) kinematographische Aufnahmen des schlagenden Warmblüterherzens gemacht hat, über deren Ergebnisse er in einer über 100 Seiten langen Abhandlung berichtet. Auch Onimus (1901) hat das schlagende Herz photographiert.

Die wissenschaftliche Ausbeute der an sich sehr wertvollen Methode der Kinematographie ist bis jetzt gering. Es handelt sich gewiß nicht darum, kinematographische Aufnahmen des Herzens überhaupt vorzunehmen, wie sie ja von allen möglichen Vorgängen zu Hunderten gemacht werden, sondern die Aufnahmen gründlich zu analysieren, was allerdings ein nicht so einfaches Unternehmen ist.

Braun 1898. Über Herzbewegung. Jena.
Marey 1892. Le mouvement du coeur étudié par la chronophotographie. C. R. hebd. de l'acad. d. sc. T. 115. p. 485.
Onimus 1901. Photographie des mouvements du coeur. C. R. Soc. Biol. p. 573.
Thompson 1886. A new apparatus for the study of cardiac drugs. Scientific American. Supplement XXII, No. 561.
Zoth 1893. Zwei Methoden zur photographischen Untersuchung der Herzbewegung von Kaltblütern.

Kapitel 32.

Röntgenbeobachtungen und Perkussion des Herzens und der grossen Gefässe.

Ein wertvolles Hilfsmittel zum Studium der Herzbewegungen, besonders zum klinischen, ist die Durchleuchtung des Thorax mit Röntgenstrahlen und die Beobachtung des Herzschattens auf einem fluoreszierenden Schirm oder dessen Photographie geworden. Es ist hier nicht möglich, auf alle Konstruktionen der Röntgenapparate im einzelnen einzugehen. Ich hebe nur das hervor, was sich für die Beobachtung des Herzens als wichtig erwiesen hat.

Es ist selbstverständlich, daß, wenn eine genaue Feststellung der Herzgrenzen vorgenommen werden soll, die Röntgenstrahlen so geleitet werden müssen, daß entsprechend bestimmten geometrischen Verhältnissen ein sicherer Rückschluß aus der Schattengröße auf die wirkliche Größe eines Herzschnittes gemacht werden kann. Am besten eignet sich hierzu die Parallelprojektion. Zuerst ist dies wohl von Moritz erkannt worden, der auf Grund dieser Überlegungen mit großer Sorgfalt ein technisch bequemes und theoretisch einwandfreies Verfahren, die Orthodiagraphie, ausgebildet hat. (S. Moritz 1905.) Es werden die von einer engen Öffnung ausgehenden Röntgenstrahlen durch eine enge Blende senkrecht zu der Transversalebene des Körpers hindurchgeschickt. Die zu untersuchende Person liegt in Rückenlage auf einer horizontalen Unterlage, unter der die Röntgenröhre samt dem Blendenapparat so hin und hergeschoben wird, daß das Strahlenbündel immer mit sich parallel senkrecht gegen die Transversalebene des Körpers, d. h. bei dem geschilderten Apparat vertikal bleibt. Man markiert nun die Punkte, in denen das Lichtbündel den Rand des Herzens schneidet, auf einem über dem Körper des Patienten horizontal gelagerten Röntgenschirm oder auf einem passenden, auf diesem befestigten Pauspapier. (S. a. Dietlen 1906, Guttmann 1906, Groedel 1908 u. a.)

Rieder hat dies Verfahren in neuerer Zeit durch eine photographische Aufnahme der mit dem orthodiagraphischen Verfahren festgestellten Herzgrenzen ergänzt. Es muß zunächst durch Orthodiagraphie der Schattenriß des Herzens aufgenommen sein. Dann werden mit einem in ähnlicher Weise wie bei dem Moritzschen Verfahren ausgesonderten Strahlenbündel die Grenzen des Herzens umfahren, während über der Person statt des Röntgenschirms eine durch schwarzes Papier verhüllte photographische Platte befestigt wird.

Guillemonat (1899) gibt an, daß er ein Verfahren ausgebildet habe, mit dem eine Röntgenaufnahme des Herzens immer in den gleichen Phasen erfolgen soll. Diese während dieser bestimmten Phasen erfolgenden Aufnahmen kommen dadurch zustande, daß automatisch durch ein mit der Radialis verbundenes Pulsometer eine Unterbrechung des primären Stroms des Induktors und damit die Aufnahme nur in bestimmten Phasen erfolgt.

Zuntz und Schumburg (1896) haben, wie wahrscheinlich auch noch andere Autoren, darauf aufmerksam gemacht, daß relativ beträchtlichen Volumschwankungen des Herzens nur geringe Schwankungen der linearen Durchmesser entsprechen. Eine Vergrößerung des Pulsvolumens um das

doppelte würde bei dem menschlichen Herzen nur ein Anwachsen des Durchmessers um 8 mm hervorrufen.

Dietlen 1906. Über die Größe und Lage des Herzens und ihre Abhängigkeit von physiologischen Bedingungen. Verhandl. d. Kongr. f. inn. Med. 23. p. 267.
Dietlen 1906. Die Perkussion der wahren Herzgrenzen. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 88.
Groedel 1908. Die Form der Herzsilhouette bei verschiedenen Herzaffektionen. Verh. Ges. deutsch. Nat. Ärzte Vers. 79. Hälfte 2, S. 41.
Guillemonat 1899. Radiographie du coeur et de l'aorte aux différentes phases de la révolution cardiaque. C. R. de l'acad. d. sc. CXXIX. p. 177.
Guttmann 1906. Über die Bestimmung der sogenannten wahren Herzgröße mittels Röntgenstrahlen. Zschr. f. klin. Med. 58, S. 353.
Moritz 1905. Über Veränderungen in der Form, Größe und Lage des Herzens beim Übergang aus horizontaler in vertikale Körperstellung. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 82, p. 1.
Rieder H. Die Orthoröntgenographie des menschlichen Herzens. Arch. f. physikal. Med. II, 1.
Zuntz und Schumburg 1896. Über physiologische Versuche mit Hilfe der Röntgenstrahlen. Arch. f. Anat. und Physiol. p. 550.

Kapitel 33.

Die Herztöne.

A. Registrierung der Herztöne.

Die Versuche, die Herztöne zu registrieren, sind wohl schon ziemlich alt. Die erste Mitteilung, die sich in der Literatur hierüber findet, rührt von Fredericq her. Er gibt an (1892), daß er eine phonautographische Membran zur Verzeichnung der Herztöne benutzen wollte: „Neuerdings habe ich einige Versuche angestellt, um die Herztöne objektiv (ohne Mitwirkung des Nervensystems des Experimentators) durch Photographieren der Schwingungen einer phonautographischen Membran zu registrieren. Über diese Versuche hoffe ich bald Nachricht zu geben.“

Hürthle hat zuerst ausführlich über ein Verfahren berichtet, das zur mechanischen Registrierung der Herztöne dienen sollte. (1892, s. besonders die ausführliche Mitteilung 1895.) Er verbindet mit einem Stethoskop einen komplizierten Resonanzapparat, bestehend aus einer Reihe von Holzscheiben und weiter einer Holzstimmgabel. An der Stimmgabelzinke ist ein kleines Mikrophon befestigt, das entweder in einen primären Strom eines Induktionsapparates eingeschaltet wird, oder in den Strom, der einen Elektromagneten betreibt. Im ersteren Fall werden die sekundären Pole des Induktionsapparates mit einem Nervenmuskelpräparat verbunden, dessen Zuckungen aufgeschrieben werden. Im letzteren Fall bewegt das Magnetfeld des Elektromagneten einen kleinen Anker, der an einer Mareyschen Aufnahmekapsel befestigt ist. Durch Lufttransmission wird eine Registrierkapsel in Tätigkeit gesetzt. In meiner Mitteilung vom Jahre 1904 habe ich eine Kritik des Hürthleschen Verfahrens in Aussicht gestellt. Hürthle (1904) hat sich dagegen verwahrt, daß sein Verfahren beanspruche, eine qualitativ richtige Darstellung der Herztöne zu geben, und erklärt, daß es nur dazu dienen sollte, den Moment des Auftretens der Herztöne an dem gleichzeitig regi-

strierten Kardiogramm festzustellen. Ich will ganz davon absehen, daß der Titel seiner Abhandlungen zur Vermutung führen konnte, daß er wirklich eine Registrierung der Herztonschwingungen beabsichtigt hatte und daß sein zweites Verfahren im Prinzip eine solche Registrierung ermöglicht, und will hier kurz nur meine Ansicht über die von ihm 1904 näher bestimmte Leistung seines Apparates äußern.

Nach meiner Meinung ist seine Methode auch ungeeignet, den Beginn der Herztöne irgendwie genau darzustellen. Zu einem solchen Vorhaben ist die Einschaltung von Resonatoren, wie es Hürthle ausgeführt hat, nicht zweckmäßig, sondern nur schädlich. Die Hürthleschen Auseinandersetzungen über die Wirkungen seiner Resonatoren sind mir unverständlich geblieben. Aber sicher ist das eine, daß die Schwingungen eines Resonators weder zeitlich noch in ihrer Größe die Veränderungen der einwirkenden Kraft darstellen. Wenn man sich darüber informieren will, um welche Beträge die registrierten Kurven gegenüber den aufzunehmenden zeitlich verschoben sein können, braucht man sich nur die Resultate des Korrekturverfahrens, das Frank (1905) und Petter (1908) angewandt haben, anzusehen. Die Hürthleschen Kurven kann man charakterisieren als das Erzeugnis von Schleuderung, die durch eine genügend starke Trägheitskraft, wie sie zum Beginn des Kardiogramms und zu Beginn der Inzisurdrucksenkung in der Aorta und der Pulmonalis aber an einem nicht genau definierten Zeitmoment eintritt. Fast ganz ähnliche Kurven habe ich erhalten, als bei einem meiner Versuche die Herztöne zu registrieren (s. unten) der Spiegel durch Zufall nicht fest mit der Membran verklebt war, sondern nur mit einem dünnen Faden an der Membran hing. Die Kurven bestehen aus, kurz gesagt, charakterlosen Schwingungen, etwa im Anfang der Systole und im Anfang der Diastole. Ich habe diesen Versuch zur bleibenden Erinnerung aufgehoben. Genau so sehen die Kurven aus, die später O. Weiß (etwa 1907 u. s. f.) veröffentlicht hat und die ihn dazu geführt haben, eine verschiedene Tonhöhe der hier wirklich als Ton auftretenden Schwingungen für die beiden Herztöne anzunehmen, während sie in Wirklichkeit, wie eine einfache Berechnung zeigt, die Eigenschwingungen seines Glasstäbchens sind. Sie sind durch dieselben Momente erzeugt worden, wie die Hürthleschen Kurven und wie meine soeben erwähnten fehlerhaften Aufnahmen. Das Prinzip bei der Konstruktion des Apparates muß gerade entgegengesetzt dem Hürthleschen Verfahren sein, nämlich die Resonanz zu vermeiden, d. h. mit der Schwingungszahl des Instrumentes über diejenige hinauszukommen, die der Resonanz entspricht. Daß insbesondere für die Analyse der Geräusche ein Resonator ein vollständig ungeeignetes Instrument ist, brauche ich nicht mehr näher auseinander zu setzen. Es wäre höchst wünschenswert, wenn aus der physiologischen Literatur derartige Dogmen der Lehrbücher der Physik verschwinden würden. Mit ungenügenden Vorrichtungen daneben Kardiogramme aufzunehmen, ist zwecklos. Eine Registrierung der Herztöne mit ungenügenden Mitteln bedeutet ungefähr dasselbe wie eine unzulängliche Kardiographie.

1896 haben Einthoven und Geluk über ein wesentlich anderes Verfahren berichtet. Sie setzen auf die Brustwand ein Stethoskop oder Phonendoskop und verbinden es durch einen Schlauch mit einem Mikrophon. Das Mikro-

phon ist in die primäre Spule eines Induktionsapparates eingesetzt, dessen sekundäre Spule mit einem empfindlichen Kapillarelektrometer verbunden ist. In der Stethoskopröhre ist an einer passenden Stelle ein Loch angebracht, damit der Herzstoß nicht auf das Mikrophon einwirkt. Die Schwankungen des Meniskus in dem Kapillarelektrometer werden photographisch registriert. Da das von Einthoven erfundene Saitengalvanometer in viel höherem Maß raschen Stromschwankungen zu folgen vermag, hat Einthoven dieses ausgezeichnete Instrument sofort nach seiner Konstruktion statt des Kapillarelektrometers verwendet (s. unten die Mitteilungen 1907). Bei der Registrierung der Herztöne des Kaninchens und des Hundes war eine unmittelbare Verbindung zwischen dem Stethoskop und dem Mikrophon

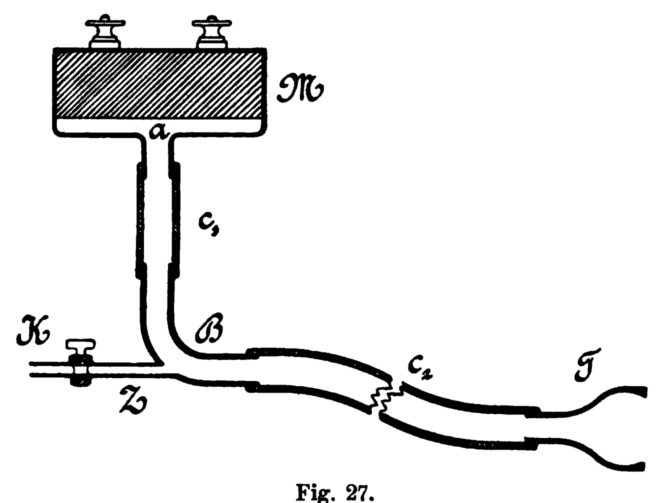


Fig. 27.
Verbindung des Stethoskoptrichters mit dem Mikrophon nach Einthoven.

nicht notwendig. Die Öffnung in dem Stethoskoptrichter sollte dazu dienen, „die Effekte des Ictus cordis zurücktreten zu lassen, so daß nur Töne fortgepflanzt werden". Das Einthovensche Verfahren ist zweifellos so gut durchgeführt, daß es, wenn man die elektrische Registrierung für wünschenswert hält, nicht übertroffen werden kann. Es genügt eine einfache Betrachtung der erhaltenen Kurven, um zu demonstrieren, daß es Charakteristika der Herztöne wiedergibt. Das wesentliche Resultat der Einthovenschen Versuche nämlich, daß die akustischen Phänomene, die man als Herztöne bezeichnet, keine Töne sind, sondern Geräusche, genügt allein, um die Bedeutung dieses Verfahrens erkennen zu lassen. Trotzdem wäre eine eingehende Analyse wünschenswert. Das Verfahren hat, wie jedes andere, Grenzen seiner Leistungsfähigkeit und kann nicht wahllos, wenn es auch von der größten Autorität empfohlen wird, benutzt werden. Es fragt sich nur, wie weit die Leistungsfähigkeit reicht. Ich möchte hier nur darauf aufmerksam machen, daß wohl durch den elektrischen Strom Massen im gewöhnlichen Sinn nicht eingeführt werden, daß ferner die Einthovensche Saite den Schwankungen genügend treu folgt, daß aber die Eigenschwingung der

Kohlenstäbchen etc. wohl zu berücksichtigen ist, daß ferner die Übertragung durch Induktion eine Veränderung der ursprünglichen Schwankungen in dem Sinne bedingt, daß mehr die Geschwindigkeit eine Rolle spielt. Selbstverständlich kommen alle diese Momente bei der Beurteilung der Leistungen der Methode wesentlich in Betracht. Sowohl für die zeitlichen Bestimmungen als auch für die Beurteilung der Amplituden der einzelnen Schwingungen etc.

Im Anschluß an meine Untersuchungen über die Leistungen des Lufttransmissionsverfahrens habe ich einen Apparat angegeben, mit dem man die Herztöne unmittelbar, d. h. ohne Vermittlung des Mikrophons registrieren kann (1904). Der Apparat ist sehr einfach. Er besteht aus einem Phonendoskop oder einem Stethoskoptrichter, der durch einen Schlauch mit einer kleinen Kapsel verbunden ist, über die eine dünnste Gummimembran gespannt ist. Der Kapsel habe ich später eine besondere Form gegeben (s. Kap. 15). Ihr Rand stellt keinen vollständigen Kreis dar, sondern ein Segment, dessen Enden durch ein gerades Stück wie eine Sehne verbunden sind.

Auf der Membran ist eine aus leichtem Material gebildete Platte aufgeklebt, mit der Sehne als Basis. Wirkt auf die Membran ein Druck, so bewegt sich die Platte um die Sehne als Achse. Die Bewegungen erfolgen fast streng um diese Achse, jedenfalls sind die seitlichen Bewegungen von keinerlei Bedeutung. Auf die Platte ist ein kreisförmiger Spiegel so aufgeklebt, daß der gerade Rand und der Durchmesser des Spiegels annähernd zusammenfallen. In dem Phonendoskop oder dem Stethoskoptrichter ist eine seitliche Öffnung angebracht, die durch eine Mikrometerschraube mehr oder weniger verschlossen werden kann. Als ich die Konstruktion ausführte, war es nicht allein meine Absicht zu zeigen, daß man mit diesem Apparat Kurven erlangen kann, die etwa den Schwingungen der Herztöne entsprechen, sondern ich wollte zugleich eine gründliche theoretische Analyse des Verfahrens geben. Ich habe sofort mit dem Instrument Kurven erhalten, die ich auch nach meinen späteren Erfahrungen als richtig ansehen muß, und habe sie in der Morphologischen Gesellschaft zu München einige Tage nach der Konstruktion des Apparates demonstriert. Außerdem habe ich Beispiele von Kurven in verschiedenen Abhandlungen veröffentlicht (so 1905 und in dem Vortrag von O. Hess 1908 s. Kap. 27). Aber zunächst schien mir die Analyse des Verfahrens am notwendigsten. Ich habe sie in meiner Abhandlung: „Dynamik“ 1907 S. 342—350 durchgeführt. Sie gehört wohl zu den schwierigsten Teilen meiner theoretischen Untersuchungen über die Leistungen der Instrumente. Auf Grund dieser Analyse und meiner weiteren ausgedehnten experimentellen Arbeiten kann ich nunmehr sagen, daß die Empfindlichkeit der Vorrichtung und die Dauer der Eigenschwingungen des Apparats, die bis jetzt bei keinem anderen Apparat bestimmt worden sind, sich so bemessen lassen, daß die Aufzeichnungen vollständig getreu sind. Es hat sich bei diesen Untersuchungen gezeigt, daß die Schwingungen, die den akustischen Eindruck der Herztöne hervorrufen, ein viel roheres Phänomen sind, als man dies vorher gedacht hatte. Hierin befinde ich mich ganz in Übereinstimmung mit Einthoven. Man hat auch hier bei der Konstruktion der Apparate wieder nebensächlichen Dingen seine Aufmerksamkeit zugewandt, so hat

man gemeint, die Erschütterungen durch den sogenannten Herzstoß abhalten zu müssen, während doch die Schwingungen der Herztöne nichts weiter sind als ein Teil dieser Erschütterungen, d. h. ein Teil des Kardiogramms. Wenn man die Herztöne registriert, versucht man diese raschen Schwingungen allein auf den Registrierapparat wirken zu lassen dadurch, daß man eine mehr oder weniger große Öffnung in dem System anbringt, durch die je nach ihrer Größe und den übrigen Verhältnissen die Geschwindigkeit des Kurvenverlaufs, ev. mit vollständiger Unterdrückung der langsamen Schwingungen oder auch der Kurvenverlauf selbst dargestellt wird. Hierüber siehe man meine Theorie des Tachographen (1907). Daß die Herztonschwingungen relativ langsame Schwingungen sind, hätte man schon aus der Tatsache entnehmen können, daß sie, sobald eine Öffnung in dem Stethoskoptrichter angebracht wird, kaum mehr zu hören sind. Für eine Analyse der ganzen Erscheinungen wäre es viel besser, möglichst die Herztöne innerhalb des Kardiogramms zur Darstellung zu bringen, als das gewöhnliche Kardiogramm durch die Seitenöffnung auszulöschen.

Hürthle hat nach einer Mitteilung in dem Zentralblatt für Physiologie 1904) schon sechs Jahre vor meiner Veröffentlichung von dem Mechaniker Albrecht Apparate anfertigen lassen, die dem meinigen ähnlich seien. Mit dem ersten meinem ursprünglichen Modelle am ähnlichsten Apparat wurden die nach Hürthle unregelmäßigen Bewegungen des Lichtstrahls erst sichtbar, wenn dieser auf eine Entfernung von etwa 10 m projiziert wurde. Er konstruierte daher einen anderen, bei dem der Spiegel sich um einen Seidenfaden als Achse bewegt und gegen die Membran angedrückt wird. „Da nach den vorläufigen Versuchen zur Registrierung der Herztöne starke Vergrößerungen erforderlich sind“, konstruierte er einen weiteren, der noch eine größere Analogie mit dem Gehörorgan besitzt. Die Membran wirkt auf eine Flüssigkeitssäule, die bis zu ein $^1/_5$ mm Lumen verengt ist. „Mit diesem Modell habe ich vorläufig keine befriedigenden Resultate erzielt, wahrscheinlich wegen Reibungsfehlern.“ Zu dem letzteren möchte ich bemerken, daß die Reibungsfehler vermutlich die geringste Rolle dabei spielen, daß aber wegen der großen wirksamen Masse (s. Frank, Dynamik 1903) diese Vorrichtung zur Registrierung der Herztöne ungeeignet ist. Zu den weiteren Bemerkungen Hürthles habe ich schon durch meine obige Darstellung Stellung genommen. Die Kurvenhöhe kann bei meinem Apparat bei einer Entfernung des Schirms von 1 m mehrere cm betragen. Ich betone nochmals, daß ich den größten Wert aber auf die theoretische Analyse lege.

O. Weiß (1907, s. a. Joachim 1908, Hofbauer und Weiß 1908) hat in neuester Zeit versucht, die Herztöne durch die Anwendung einer Seifenlamelle zu registrieren. Er hat über seine Bestrebungen in einer großen Reihe von Abhandlungen berichtet. Da die von ihm veröffentlichten Kurven in ihrem Aussehen außerordentlich wechselnd sind, und da er eine irgendwie strengere Analyse des Verfahrens nicht vorgenommen hat, so muß man erst die weiteren Entwicklungen abwarten. Ich möchte hier nur bemerken, daß ich wesentliche Bedenken gegen sein Verfahren habe, von denen ich einige auf dem Deutschen Physiologenkongreß in Würzburg (1909) geäußert habe (s. oben). Eine eingehende Beschreibung ist in seinen Abhandlungen, besonders in dem Vortrag: „Phono-Kardiogramme“ in der Sammlung von Vor-

trägen herausgegeben von Nagel und Gaupp zu finden. Die wesentlichen Konstanten des Systems sind allerdings nicht angegeben.

Schließlich führe ich noch Untersuchungen von Holowinski (1896, 1899, 1901) an, der ebenfalls die Herztöne unter Benutzung des Mikrophons zu photographieren versuchte. Sie haben zu keinem diskutierbaren Ergebnis geführt. (S. Abbildung in O. Weiß 1909 S. 16.) Dasselbe gilt für die Methode von Gerhartz.

Ein eigentümliches Verfahren zur Registrierung der Herztöne hat Marbe (1907, 1908, s. auch Roos 1908) angegeben. Er benutzt zur Registrierung eine schallempfindliche rußende Flamme, die er gegen eine sich bewegende Papierfläche schlagen läßt. Es entstehen entsprechend der Veränderung der Flammenhöhe Rußringe, aus denen die Schwingungen heraus erkannt werden müssen.

Die Herztöne sind durch Hebel oder elektromagnetisch mit Handbewegungen signalisiert worden von Donders (1865), Landois (1876) u. a. (Siehe Gscheidlen, Physiolog. Methodik S. 613.)

B. Analyse der Herztöne.

Zur Erforschung der Ursache der Herztöne sind vor der Ausbildung der Registriermethoden viele Untersuchungen vorgenommen worden. Ich erinnere nur an die folgenden: Williams (1836) beobachtete, daß bei der Entleerung des Herzens der zweite Ton verschwindet (ebenso Guttmann 1869). Bei dem Anhaken der Semilunarklappen verändert sich der Ton oder es entsteht ein pfeifendes Geräusch. (Nach Schäfers Textbook S. 31, siehe Gscheidlen, Physiolog. Methodik S. 619.) Nach Talma (1882), der an Modellen, bestehend aus langen Glasröhren mit angebundenem Konus der Pulmonalarterie arbeitete, ist zur Entstehung des zweiten Herztons die Schwingung der Flüssigkeitssäule notwendig.

Zu erwähnen ist noch, daß der erste Herzton auch an dem ausgeschnittenen Herzen gehört wird. Dies ist schon früh u. a. auch von Williams festgestellt, in neuerer Zeit wieder von Langendorff (1895 S. 309) an dem überlebenden Säugetierherzen beobachtet worden. Bemerkenswert ist weiter noch die Angabe von Schäfers Textbook S. 30, daß der erste Herzton gehört wird, wenn das Perikard mit Flüssigkeit gefüllt wird und daß er verstärkt wird, wenn ein Brett auf das freigelegte Herz gelegt wird.

Ähnliche Untersuchungen zur Feststellung der Ursache des ersten Herztons, wie sie in der bekannten Arbeit von Dogiel und Ludwig (1868), die ich hier im Auszug wieder gebe, veröffentlicht worden sind, sind später noch von Krehl ausgeführt worden.

S. 89—91: „Ein starker Hund, der mit Kurare vergiftet war, wurde durch künstliche Atmung am Leben erhalten und ihm auf bekannte Weise die Brusthöhle eröffnet; dann wurden sämtliche aus dem Herzen hervorkommende Venen- und Arterienstämme freigelegt und unmittelbar an ihrem Austritt um jeden derselben ein starker Faden geschlungen. Nachdem die Vorbereitung so weit gediehen, wurden die angelegten Fäden bis zur vollständigen Verschließung des betreffenden Gefäßes zugeschnürt. Die Unterbindung geschah in der nachstehenden Reihenfolge. Zuerst an der oberen Hohlvene, wobei natürlich die Vena azygos, vom Herzen aus gerechnet, jenseits der Ligatur lag, dann

die untere Hohlvene, darauf die Lungenarterie, dann die beiden Lungenvenen an den Lungenwurzeln und endlich, nachdem durch einen sanften Druck das linke Herz möglichst vollständig entleert war, die Aorta. Darauf wurden jenseits der Ligaturen die Gefäße durchgeschnitten und das Herz zuweilen noch in Verbindung mit den Lungen rasch heraus genommen und augenblicklich in den schallleitenden Apparat gehängt.“

„Dieser letztere bestand, wie der beistehende Holzschnitt zeigt, aus einem abgesprengten und abgeschliffenen Glaskolben von entsprechender Größe. Die breite offene Basis desselben aa war nach oben gerichtet, die Mündung des kurzen Halses war mit einer dünnen Kautschukplatte b verschlossen; an diesen Hals schloß sich mittels der Kautschukröhre c ein Glasrohr d an, über dessen unteren ausgezogenen Teil das Kautschukrohr eines Stethoskopes von König gesteckt wurde. Bevor das Herz in den Raum aa hineingebracht wurde, war dieser schon mit defibriniertem Blut, welches einem andern Tier entzogen war, angefüllt, und bei dem Eintauchen ward dafür gesorgt, daß keine Luftblasen im Blut und an der Herzwand zurückblieben, und ferner dafür, daß das Herz die Wand des Glasgefäßes nirgends berührte. Sowie der Versuch bis zu diesem Punkt gediehen war, konnte ein Beobachter mit Hilfe des Röhrchens e die Töne, welche sich jetzt noch hören ließen wahrnehmen.“



Fig. 28.
Auskultation des ausgeschnittenen Herzens nach Ludwig-Dogiel.

„Bevor wir das, was zu hören war, beschreiben, müssen wir erwähnen, daß es uns trotz größter Sorgfalt niemals gelungen ist, ein vollkommen blutfreies Herz für den Versuch zu gewinnen. Der rechte sowohl wie der linke Ventrikel zeigten sich jedesmal bei der Obduktion noch mit einem merklichen Blutrest behaftet, selbst wenn sie während des Versuchs den Anschein vollkommener Blutleere darboten. Da die Arteria pulmonalis und die Arteria aorta noch mehrere kräftige Kontraktionen ausgeführt hatten, nachdem ihre blutzuführenden Venen unterbunden waren, so gewinnt es danach den Anschein, als ob sich die Kammerhöhlen nicht mehr vollständig in die Arterie zu entleeren vermöchten, wenn sich die Venenklappen aus Mangel an spannendem Blut nicht mehr zu stellen vermögen. So wünschenswert eine weitere Verfolgung dieser Erscheinung ist, so wenig kann dieselbe als eine für unsern Zweck störende angesehen werden. In einigen Fällen haben wir die im Herzen restierende Blutmenge gemessen und mit denjenigen verglichen, welche notwendig waren, um eine Entfaltung der Venenklappen an der linken Kammer herbeizuführen. Hierbei stellte sich heraus, daß die restierende Menge um das Vier- bis Zwanzigfache geringer war als diejenige, welche der Ventrikel zur Stellung der Zipfelklappen nötig hatte. Demnach konnte die Blutmenge, welche das ausgeschnittene Herz noch faßte, in keiner Weise zur Klappenspannung genügen; daß dieses auch bei den Herzen, in denen wir keine ähnlichen Bestimmungen ausgeführt haben, unmöglich war, ging ohne weiteres aus dem zusammengefallenen Ansehen derselben hervor, welches sie in der Diastole darboten.“

„Auf diese Weise haben wir beide uns davon vergewissert, daß das ausgeschnittene nahezu blutleere Herz während der Zusammenziehung seiner Kammern einen Ton hervorbringt, welcher, soweit unser Unterscheidungsvermögen reichte, nicht wesentlich von dem verschieden ist, den die Kammer-Systole des lebenden Hundeherzens erzeugt."

S. 96: „Uns hat es genügt, eine neue Stütze gewähren zu können der zuerst von Charles Williams ausgesprochenen Behauptung, welche, wenn wir sie recht verstehen, dahin lautet: „daß das Muskelgeräusch einen wesentlichen Anteil an der Erzeugung des ersten Herztons nehme"."

Einen Ton, der durch den Schluß der Mitralklappen entsteht, haben Bayer (1870) und Giese (1871) an dem ausgeschnittenen toten Atrioventrikulartrichter erzeugt (siehe Gscheidlen, Physiologische Methodik S. 615. 16).

Für die Analyse der Entstehung der Herz-Geräusche ist wichtig die Arbeit von Nicolls (1896 p. 413 und 426).

Dogiel und Ludwig 1868. Ein neuer Versuch über den ersten Herzton. Berichte d. k. sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig, XX, p. 89.
Einthoven und Geluk 1896. Het registreeren der hartstonen. Onderzoek. physiol. labor. Leiden II. p. 1.
Einthoven 1907. Ein dritter Herzton. Arch. ges. Physiol. 120, p. 31.
Einthoven 1907. Die Registrierung der menschlichen Herztöne mittels des Saitengalvanometers. (Unter Mitwirkung von A. Flohil und P. J. T. A. Battaerd, Assistenten am Labor.) Arch. f. d. ges. Physiol. 117, p. 461.
Frank 1904. Die unmittelbare Registrierung der Herztöne. München. med. Wochenschr. Nr. 22.
Frank 1905. Der Puls in den Arterien. Zeitschr. f. Biol. Bd. 46, p. 441.
Frank 1907. Konstruktion und Theorie eines neuen Tachographen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 50, p. 303.
Frank 1907. Dynamik der Membranmanometer und der Lufttransmission. Zeitschr. f. Biol. Bd. 50, p. 309.
Fredericq 1892. Über die Zeit der Öffnung und Schließung der Semilunarklappen. Zentralbl. f. Physiol. VI, p. 257.
Guttmann 1869. Über die Entstehung des ersten Herztons. Virchow Arch. 46. S. 225.
Hofbauer und Weiß 1908. Photographische Registrierung der fötalen Herztöne. Zentralbl. Gynäk. Jahrg. 32 S. 429.
Holowinski 1892. Über die Photographie der zwei Herztöne, gleichzeitig mit anderen physiologischen Wellen. Z. f. klin. Med. 31, p. 201.
Holowinski 1896. Sur la photographie des bruits du coeur. Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 893.
Holowinski 1899. Mikrophonische Untersuchung der Puls- und Herzwellen. Zeitschr. f. klin. Med. XXXVII., p. 199.
Holowinski 1901. Physikalische Untersuchung der Herztöne. Z. f. klin. Med. XLII, p. 186.
Hürthle 1892. Über die Erklärung des Kardiogramms mit Hilfe der Herztonmarkierung und über eine Methode zur mechanischen Registrierung der Töne. Deutsch. med. Wochenschr. No. 4.
Hürthle 1895. Über die Verbesserungen der Methode zur mechanischen Registrierung der Herztöne und ihre Ergebnisse. Jahresber. d. schles. Ges. f. vaterländ. Kultur.
Hürthle 1895. Beiträge zur Hämodynamik. X. Abhandlung. Über die mechanische Registrierung der Herztöne. (Physiol. Institut Breslau) Arch. f. d. ges. Physiol. LX, p. 263.
Hürthle 1904. Zur unmittelbaren Registrierung der Herztöne. Zentralbl. f. Physiol. 18, p. 617.
Joachim 1908. Über die Anwendung der Weißschen Registriermethode in der Klinik. Zeitschr. f. biol. Technik. Method. Bd. 1, p. 58.

Langendorff 1895. Untersuchungen am überlebenden Säugetierherzen. (Physiol. Institut Rostock.) Arch. f. d. ges. Physiol. LXI, p. 291.
Marbe 1907. Registrierung der Herztöne mittels rußender Flammen. Arch. ges. Physiol. 120, p. 205.
Marbe 1908. Über die Verwendung rußender Flammen in der Psychologie und deren Grenzgebieten. Zeitschr. Psychol. Physiol. Sinnesorg. Abt. 1, Bd. 49, p. 206.
Nicolls 1896. Haemodynamics. Journ. of physiol. XX p. 407.
Petter 1908. Die Leistungen des Sphygmographen. Erste Abhandlung. Theorie des Sphygmographen. Zeitschr. Biol. Bd. 51, p. 335, Anhang: Zur Theorie der Mitschwingungen, p. 352.
Roos 1908. Über objektive Aufzeichnung der Schallerscheinungen des Herzens. Deutsches Arch. klin. Med. 92, S. 314.
Talma 1882. Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Respiration auf die Zirkulation des Blutes. Arch. f. d. ges. Physiol. XXIX, p. 311.
Weiß 1907. Apparate zur Registrierung der menschlichen Herztöne. (Ver. wiss. Heilkunde Königsberg.) Deutsch. med. Wochenschr. 33, p. 1661.
Weiß 1907. Die Registrierung der menschlichen Herztöne durch Seifenhäutchen. Arch. ges. Psychol. Bd. 9, p. 463.
Weiß 1908. Nouvelle méthode d'enregistrement des bruits du coeur. C. R. Soc. Biol. Paris T. 65, p. 118.
Weiß 1908. Zwei Apparate zur Reproduktion von Herztönen und Herzgeräuschen. Zeitschr. biol. Techn. Method. Bd. 1, p. 121.
Weiß 1908. Die Seifenlamelle als schallregistrierende Membran im Phonoskop. Zeitschr. biol. Techn. Method. Bd. 1, p. 49.
Weiß und Joachim 1908. Registrierung und Synthese menschlicher Herztöne und Geräusche. (25. Kongr. inn. Med. Wien.) Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 34, p. 764.
Williams 1836. Rep. brit. Ass. Adv. Sc. S. 269.

Kapitel 34.

Elektrokardiographie.

Die Apparate, die zur Verzeichnung der elektromotorischen Kräfte dienen, die bei der Herzbewegung auftreten, d. h. zur Registrierung des Elektrokardiogramms, werden an anderer Stelle dieses Handbuchs beschrieben und gewürdigt. Nach der eingehenden Kritik Einthovens wird man wohl in Zukunft kaum ein anderes Instrument als das von ihm erfundene Saitengalvanometer (1903 und 1906) zur Aufzeichnung des Elektrokardiogramms, besonders des von dem Menschen genommenen (zuerst von Waller 1887 beschrieben) benutzen. (Früher ist das Kapillarelektrometer verwendet worden.) Ich beschreibe hier nur die Elektroden, die zur Aufnahme des Elektrokardiogramms angewandt werden. Für das bloßgelegte Kalt- oder Warmblüterherz werden die gewöhnlichen unpolarisierbaren Elektroden verwandt. Bei dem Menschen hat man die folgende Anordnung benutzt (Einthoven 1900 S. 140):

„Jede Hand war bis über den Puls in eine große mit einer 1 %igen Kochsalzlösung gefüllte Tonzelle getaucht, die selbst in einem gläsernen Zylinder stand. Letzterer war mit einer gesättigten Lösung von Sulfas zincicus (Zinksulfat) gefüllt, worin sich ein Blatt aus amalgamiertem Zink befand, das mit einem der Pole des Kapillar-Elektrometers leitend verbunden war (s. Fig. 29)."

Man kann selbstverständlich von andren Stellen des menschlichen Körpers ableiten. Die Aufnahmen fallen dann entsprechend der Lage dieser Stellen zur Lage des Herzens verschieden aus.

M. Cremer (1906) hat für die Aufnahme des Elektrokardiogramms bei einem Schwertschlucker silberne Elektroden verwendet, die in den Oesophagus eingeführt werden. Heubner (1908) hat beim Säugling und älteren Kinde das Elektrokardiogramm registriert.



Fig. 29.
Aufnahme des Elektrokardiogramms.

Wie Einthoven (1906) gezeigt hat, kann man das Elektrokardiogramm auf weite Entfernungen übertragen durch geeignete Leitungen als Telekardiogramm, was für die Untersuchung von Kranken unter Umständen wichtig sein kann.

Daß man aus dem Ablauf des Elektrokardiogramms des bloßgelegten Herzens auf den Verlauf der Erregung im Herzen schließen kann, ist von Gotch (1907) gezeigt worden, der die Elektroden an verschiedenen Stellen des Froschherzens anlegte und die erhaltenen Kurven auf Grund der Annahme, daß der Aktionsstrom in den einzelnen Muskelfaserzügen diphasisch verläuft, auf eine Summierung der Einzelkurven zurückführte. Auf diese Weise kann auch die Schnelligkeit der Kontraktionswelle, ebenso wie mit mechanischen Mitteln und vielleicht sicherer, bestimmt werden.

Cremer 1906. Über die direkte Ableitung der Aktionsströme des menschlichen Herzens vom Oesophagus etc. Münchener med. Wochenschr. Nr. 17.
Einthoven 1895. Über die Form des menschlichen Elektrokardiogramms. Arch. f. d. ges. Physiol. LX, p. 101, Taf. 3, 4.
Einthoven und De Lint 1900. Über das normale menschliche Elektrokardiogramm und über die kapillar-elektromotorische Untersuchung einiger Herzkranken. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXX, p. 139.
Einthoven 1903. Die galvanometrische Registrierung des menschlichen Elektrokardiogramms, zugleich eine Beurteilung der Anwendung des Kapillarelektrometers in der Physiologie. Arch. f. d. ges. Physiol. 99, p. 472.
Einthoven 1906. Le télécardiogramme. Arch. intern. Physiol. Vol. 4, p. 132.
Gotch 1907. Elektromotorische Veränderungen während des natürlichen Schlages des Frosch- und Schildkrötenventrikels. (7. internat. Physiol. Kong. Heidelberg) Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 33, p. 1567.
Gotch 1907. Capillary records of the electrical changes during the natural beat of the frog's heart. (Preliminary communication). Proc. R. Soc. London Vol. 79, B p. 323.
Heubner 1908. Das Elektrokardiogramm beim Säugling und älteren Kinde. Münch. med. Wochenschr. 55 p. 822.
Waller 1887. A demonstration on man of electromotive changes accompanying the hearts beat. Journ. of. physiol. VIII. S. 229.

Kapitel 35.

Der Druck in den Herzhöhlen.

Zur Bestimmung des Drucks in den Herzhöhlen sind zuerst von Chauveau und Marey 1861 und 1863 ihre Sondes cardiaques in Verbindung mit einem Tambour angewandt worden. (Abbildung und Beschreibung s. auch Kap. 16.) Sie bestehen aus einer Ampulle und einer Röhre. Die Ampullen sind aus Kautschuk gebildet und werden von einem Gerüst aus Drähten gestützt. Der Blutdruck wirkt auf die elastische Ampulle und die Bewegungen dieser werden auf die Mareysche Trommel übertragen. Das Drahtgerüst verhindert, daß der Kautschukbeutel ganz zusammengedrücktwird. Auch negativen Drücken folgt dieses Instrument. Der Apparat kann geeicht werden, indem man die Sonde in einen Raum einführt, in dem der Druck beliebig und kontrollierbar verändert wird. Es werden dann die Ausschläge entsprechend dem jeweiligem Druckzuwachs registriert. Das Verfahren ist zweifellos im Prinzip korrekt. Die Fehler liegen in der ungenügenden Leistung der gewöhnlichen Hebelkapsel. Die Sonden können nur für große Tiere, aber hier ohne Belästigung der Tiere angewendet werden. Die Pferde fressen ruhig weiter während die Sonde im Herzen steckt. Die Sonden können für gleichzeitige Registrierung des Druckes in mehreren Abteilungen eingerichtet werden.

Die einfachste Methode zur Messung des Drucks in den Herzhöhlen scheint die Einführung eines Katheters zu sein, der mit einem passenden Manometer verbunden wird. Diese Methode ist zuerst von Fick, dann von Fredericq, Hürthle, Krehl und v. Frey u. a. angewandt worden. Man kann den Katheter durch eine Jugularvene in die beiden Abteilungen des rechten Herzens oder nach Eröffnung des Thorax durch eine Öffnung des linken Vorhofs hindurch in die beiden Abteilungen des linken Herzens, oder von der Carotis aus in das linke Herz einführen. Man muß natürlich acht geben, daß bei den Messungen des Kammerdrucks die Klappen nicht verletzt werden und weiter, worauf besonders v. Frey aufmerksam gemacht hat, daß die Sonden mit ihren Öffnungen nicht an die Ventrikelwand anstoßen. Leider sind die mit diesem Verfahren gewonnenen Kurven bis jetzt noch sehr unzuverlässig, da an das Manometer ebenso hohe Anforderungen, wie bei der Verzeichnung der Druckschwankungen in der Aorta gestellt werden und die Leistungen dieser Manometer durch die notwendige Anwendung der langen Röhren sehr herabgesetzt werden. Über die Manometer, die zur Aufzeichnung der Druckschwankungen benutzt werden könnten, findet man das Nötige im Teil I, Kap. 7, 8 und 16. Es kommt wohl nur ein Federmanometer oder ein Spiegelmanometer höchster Güte in Betracht.

Das Einführen der Herzkatheter bringt keine wesentliche Veränderung der Zirkulation hervor. Die Herztöne bleiben, wie Chauveau und Marey (1863, S. 301) gefunden haben, unverändert. Auch das Kardiogramm verändert sich nach Hürthle (1891 S. 93) nicht.

Man kann wie Magini und Rolleston (1886 und 1887) gezeigt haben, Trokarts durch die Brustwand in das Herz stechen und ihre Öffnung zur

Druckregistrierung mit dem Manometer verbinden. Daß diese Methode unsicher ist, ist selbstverständlich.

Ähnlich hat schon Eduard Hering 1850 versucht, den Druck in der rechten Herzkammer zu bestimmen. An einem acht Tage alten Kalbe, das mit Ectopia cordis behaftet war, stach er mittels einer Lanzette eine Öffnung in die oben liegende Fläche des rechten Ventrikels, nicht größer, als um durch dieselbe eine senkrecht gehaltene Glasröhre in das Lumen der Kammer einführen zu können, und beobachtete dann, bis zu welcher Höhe das Blut in die Röhre anstieg. In derselben Weise verfuhr er sodann mit der linken Kammer desselben Tieres. (Tigerstedt, Ergebnisse der Physiologie II S. 537.)

Rolleston (1887) beschreibt folgendermaßen die Methode, wie er seine Manometer (Kolbenmanometer s. Teil I, Kap. 5) durch eine durch die Spitze des Ventrikels gestochene Kanüle mit dem Lumen der Höhle verbunden hat. Eine kleine Inzisur wird mit einem schmalen Messer in die Ventrikelwand gemacht, aber nur so weit, daß die Wand nicht völlig durchbohrt wird. Dann wird eine Ligatur rund um die Öffnung durch eine oder zwei Falten des viskeralen Perikards mit einer gekrümmten Nadel gezogen und die Spitze der Glaskanüle durch die kleine Öffnung bis zum Lumen des Ventrikels vorgestoßen. Die Ligatur wird dann geknüpft. Es braucht kein Tropfen Blut dabei verloren zu werden.

Auch hat er einen Trokart durch die Brustwand in die Ventrikelhöhle gestochen, und sein Lumen mit dem Manometer verbunden (s. oben).

Rolleston publiziert Kurven, die er mit beiden Methoden erhalten hat.

Wenn der Druck im Vorhof gemessen werden soll, müssen natürlich die Manometer empfindlicher sein. Im übrigen können dieselben Sonden oder Katheter wie bei der Registrierung des Ventrikeldrucks angewandt werden. (S. u. a. Porter 1892).

Um bei mittelgroßen und großen Hunden die Höhle der linken Herzkammer und der Aortenwurzel gleichzeitig mit zwei Manometern zu verbinden, hat Hürthle (1891) einen doppelläufigen Katheter benutzt. Mit diesem doppelläufigen Katheter hat Hürthle auch seinen Druckdifferenzmesser (beschrieben 1891 S. 45 siehe Kap. 10) verbunden und aus der hiermit erhaltenen Kurve die Länge der Austreibungsperiode zu bestimmen versucht. (1891 S. 70).

Rubbrecht (1898) hat den Ventrikeldruck bei Vögeln bestimmt. Der Katheter wurde von der Axillaris aus in das Herz eingeführt.

Von Frank und Voit (1900) wurde der Ablauf des Drucks zu gleicher Zeit im rechten und linken Herzen bei dem Hund aufgeschrieben.

Chauveau (1899) hat ähnliche Untersuchungen wie früher mit Faivre 1856 und Marey bei Pferden und Eseln angestellt und dabei gleichzeitig die Druckkurven und die Kardiogramme aufgeschrieben.

Zur Entscheidung der Frage, ob der Ventrikel in gewissen Momenten seiner Tätigkeit Saugkraft ausübt, können korrekte Aufnahmen des Ventrikeldrucks dienen. Es sind zu diesem Zweck aber eine Reihe von besonderen Apparaten konstruiert worden, die mehr oder minder diesen Zweck erfüllen. Ich erwähne hier nur das Maximum- und Minimum-Quecksilbermanometer von Goltz und Gaule (1879. S. Kap. 9). Eine vielseitig verwendbare

Form dieses Manometers ist von Siewert und Heubner (1908) ausgebildet worden. Sie haben statt der Metallkegelventile Williamssche Ventile von wesentlich geringerem Widerstand (ca. 3 mm H_2 0 gegenüber 13—105 mm bei dem Kegelventil) verwendet. (Auch von mir 1897 beschrieben.)

Chauveau 1899. L'occlusion des orifices cardiaques, en particulier celle des orifices auriculoventriculaires, inscrite à l'aide d'appareils transmetteurs et récepteurs à air etc. Arch. d. physiol. et d. pathol. génér. p. 712.
Chauveau und Marey 1863. Appareils et expériences cardiographiques. Mém. Acad. de méd. Paris XXVI, p. 302, s. auch Gaz. méd. l'année 1861 p. 647.
Chauveau et Faivre 1856. Nouvelles recherches expérimentales sur les mouvements et les bruits normaux du coeur. Gaz. méd. No. 24., 27, 30, 37.
Fick 1883. Eine Verbesserung des Blutwellenzeichners. Arch. f. d. ges. Physiol. XXX., p. 597, s. Kap. 4.
Frank 1897 s. Kap. 4.
Frank und Voit 1900. Über die sogenannte Hemisystolie. Deutsch. Arch. f. klin. Med. LXV, p, 587.
Fredericq 1888. Recherches sur la circulation et la respiration. La pulsation du coeur chez le chien. Arch. d. Biologie VIII, p. 497.
Fredericq 1892. Manipulation de physiol. Paris.
v. Frey und Krehl 1890. Untersuchungen über den Puls. (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Anat. und Physiol. p. 31.
Goltz und Gaule 1878. Über die Druckverhältnisse im Innern des Herzens. Arch. f. d. ges. Physiol. XVII, p. 100.
Hürthle 1891. Beiträge zur Hämodynamik. (Physiol. Institut Breslau) Arch. f. d. ges. Physiol. XLIX, p. 29.
Magini 1886. La pression du sang dans les cavités du coeur etudiée au moyen d'un trocart spécial. Arch. ital. d. biol. VIII, p. 125.
Marey 1863. Physiologie médicale de la circulation du sang. Paris.
Porter 1892. Researches on the filling of the heart. Journ. of physiol. XIII., p. 513.
Rolleston 1887. Observations on the endocardial pressure curve. (Pathol. labor. Cambridge) Journ. of physiol VIII, p. 235.
Rubbrecht 1898. Recherches cardiographiques chez les oiseaux. (Physiol. Institut Lüttich.) Bullet. d. l'acad. d. Belg. (3) XXXV. p. 438.
Siewert und Heubner 1908. Über Druckmessung im Herzen insbesondere bei Strophantinvergiftung. Arch. exper. Path. Pharm. Suppl. S. 496.

Kapitel 36.

Die Gefässelastizität.

Abgesehen von den allgemeinen Untersuchungen von Wertheim, Volkmann, Polotebnow und Israel (s. Thoma und Kaefer 1889, S. 2) über die Elastizitätsverhältnisse organischer Gewebe, darunter auch der Arterienwände, rühren die ersten Untersuchungen über die Elastizität der Arterien von Marey (1880) her. Marey hat ein Stück von der Aorta a (s. Fig. 30) an seinen beiden Enden mit Stopfen verschlossen. Das Innere der Arterie ist mit Flüssigkeit gefüllt, die durch eine Durchbohrung des Stopfens mit der Flüssigkeit in dem Reservoir R in Verbindung steht. Das Arterienstück ist wasserdicht in den kleinen mit Flüssigkeit gefüllten Plethysmometer eingesetzt. An einer graduierten Röhre werden die Volumveränderungen abgelesen. Es wird sukzessive der Druck in dem Arterienlumen verändert,

und die entsprechenden Ausweitungen notiert. So erhält man die Dehnungskurve. Einen ähnlichen Apparat hat Roy (1881 und 1888) angewendet. Roy hat die Volumschwankungen direkt registriert. Er hat auch die Elastizität der Venen bestimmt.

Auch Thoma und Kaefer (1889) haben mit einer ähnlichen Methode gearbeitet, ebenso Zwaardemaker (1888) und Strasburger (1907). (Vergl. auch Grunmach 1888.)

Nach Mac William (1902) entsteht nach dem Ausschneiden von Arterien frisch getöteter Tiere, Ochsen und Schafe, ein starker Kontraktionszustand, der unabhängig von der Leichenstarre ist. Er dürfte bei den Bestimmungen der Elastizität dieser Arterien wohl zu beachten sein. Die aus der Leiche geschnittenen menschlichen Arterien zeigen nach Strasburger (1908 S. 10) diese Erscheinung nicht.

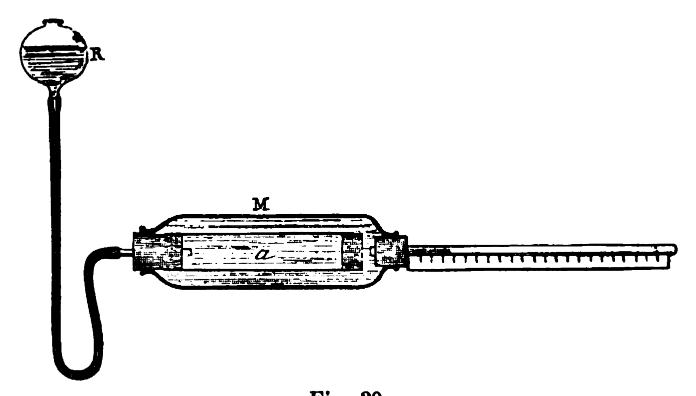


Fig. 30.
Apparat von Marey. Beschreibung S. 207.

In eleganter Weise würden sich die Dehnungskurven der Arterien mit einem Indikator, wie er von Blix oder mir (s. Kap. 21) konstruiert worden ist, aufnehmen lassen.

Für die Beziehungen zwischen der tangentialen Spannung der Arterienwand σ ($\sigma =$ spezifische Spannung, d = Dicke der Wand), dem Radius r, des Gefäßes und dem Druck p gilt die bekannte Formel

$$\sigma \cdot d = p \cdot r.$$

Für einen elliptischen Querschnitt des Gefäßes findet sich die betreffende Formel in der Abhandlung von Thoma und Kaefer (1889, S. 4) entwickelt. Wenn man endliche Dehnungen mit der Arterienwand vornimmt, hat man jedenfalls deren Gesetze (s. Frank 1906 „Die Analyse der endlichen Dehnungen“ Annalen der Physik) zu berücksichtigen.

Grunmach 1888. Über die Beziehung der Dehnungskurve elastischer Röhren zur Pulsgeschwindigkeit. du Bois-Reymonds Arch. S. 129.

Marey 1880. Trav. du labor. T. IV, S. 253.

Roy 1881. The elastic properties of the arterial wall. Journ. of physiol. III, p. 125.

Roy 1888. Note on the elasticity-curve of animal tissues. (Cambridge pathol. labor.) Journ. of physiol. IX, p. 227.

Strasburger 1907, Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 91, S. 406.
Strasburger 1908. Weitere Untersuchungen über Messung des diastolischen Blutdruckes beim Menschen. Deutsch. med. Wochenschr. Nr. 3.
Thoma und Kaefer 1889. Über die Elastizität gesunder und kranker Arterien. Arch. f. pathol. Anat. und Physiol. u. f. klin. Med. vol. CXVI p. 9.
Mac William 1902. Proceed. of the Royal Soc. of London Bd. 7, p. 109.
Zwaardemaker 1888. Over de Nitzetting der slagaderen voor den Bloedsdruk. Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde, Tweede Reeks, vol. XXIV, p. 61.

Kapitel 37.

Der Druck in den Arterien.

A. Allgemeines.

Ich benutze hier die Gelegenheit, um kurz die Prinzipien der Messung des arteriellen (oder venösen) Drucks auseinander zu setzen. In der Literatur herrscht über diese Frage eine große und unbegreifliche Verwirrung. Die Aufgabe ist, den Druck an irgend einer Stelle des Gefäßsystems zu messen, ohne daß die Kreislaufverhältnisse wesentlich geändert werden. Das würde am besten zutreffen, wenn man in das arterielle Rohr eine der von Ludwig konstruierten sogenannten Seitendruck-Kanülen (s. Kap. 12) einsetzt, vorausgesetzt, daß hierbei der Widerstand für die Flüssigkeitsbewegung und die Elastizität des arteriellen Rohrs nicht geändert wird. Aus versuchstechnischen Gründen ist dies natürlich niemals strenge der Fall. Außerdem ist das Einsetzen der Seitenwandkanüle sehr umständlich und wird deshalb kaum angewendet. Man setzt deshalb die Kanüle für gewöhnlich in einen Seitenast der Arterie oder allgemein desjenigen Gefäßes ein, in dem man den Druck messen will. Das Bedenken gegen diese Methode, und zwar das einzige, liegt darin, daß man den Druck mißt unter veränderten Verhältnissen des Kreislaufs, d. h. nach Unterbindung der Arterie. Ist die Arterie, in die die Kanüle eingesetzt ist, ein Hauptgefäß, so ist die Veränderung eine beträchtliche, im andern Fall mehr oder weniger belanglos. Man hat den Druck, den man auf diese Weise bestimmt, als „Enddruck" bezeichnet. Diese Bezeichnung ist vollständig verwirrend. Das Richtige ist zusammengefaßt: Man mißt bei dieser gewöhnlichen Methode den Druck an derjenigen Stelle des Gefäßes, von welcher der mit der Kanüle verbundene Seitenast abgeht, unter der Voraussetzung, daß eben dieser Seitenast unterbunden ist. Gleichgültig ist es im allgemeinen, ob die Richtung der Kanüle bezw. des Seitenastes einen rechten Winkel oder einen spitzen Winkel mit dem Hauptgefäß bildet. Hier kann, im äußersten Fall, bei den verschiedenen Lagerungen der Kanüle eine Druckdifferenz auftreten, entsprechend der Umsetzung der kinetischen Energie in potentielle Energie, wie sie z. B. in dem Prinzip der Pitotschen Röhren benutzt wird (s. Bernoulli). Daß diese Differenzen keine Rolle spielen, geht daraus hervor, daß die kinetische Energie des Blutes nur einen minimalen Betrag der potentiellen darstellt. Die Verwirrung ist hauptsächlich dadurch gekommen, daß man vor den Untersuchungen von Ludwig versucht hat, den Druck in den Venen

durch ein endständig mit einer großen Hohlvene verbundenes Manometer zu bestimmen und nun Ludwig, um diese Bestimmungen richtig zu gestalten, seine Seitenwandkanüle angewandt hat. Durch die Untersuchung von Ludwig hat man zum ersten Mal eine richtige Vorstellung von der Größe des venösen Drucks erhalten; dadurch hat sich die Meinung festgesetzt, daß der Gebrauch der Seitenwandkanülen von wesentlicher Bedeutung ist. Bei den alten Versuchen hat man das getan, was man nach den obigen Darstellungen unterlassen mußte, man hat nämlich durch das Einsetzen der Kanüle in einen der Hauptstämme eine vollständige Veränderung des Kreislaufs bewirkt. Man ist also ebenso verfahren, wie wenn man zur Messung des Drucks in der Aorta die Kanüle endständig in die Aorta abdominalis einsetzen wollte, und nicht wie das selbstverständlich ist, in die Carotis oder in die Axillaris oder in einen anderen kleineren Zweig der Aorta. Ludwig wäre geradeso zu seinem Ziel gekommen, wenn er die Kanüle in eine Vena jugularis oder einen Zweig der Vena jugularis eingesetzt hätte.

B. Apparate zur Druckmessung.

Die Technik der Druckmessung in den Arterien gestaltet sich sehr einfach. Die Hauptaufmerksamkeit ist den Kanülen zuzuwenden. Wie in dem ersten Teil (Kap. 12) auseinander gesetzt worden ist, befindet sich bei prinzipiell richtig konstruierten Manometern der Hauptteil der wirksamen Masse der Flüssigkeit in der Kanüle. Früher sind meistenteils Glaskanülen verwandt worden. Ich habe jedoch keine Nachteile von den Metallkanülen gesehen und möchte sie vorzugsweise empfehlen, weil ihre Wand beliebig dünn gemacht werden kann, so daß bei einer gegebenen Weite der Arterie die wirksame Masse der Flüssigkeit möglichst gering ist. Man kann sich eine Serie von ihnen bereit halten, für welche die Größe der wirksamen Masse, bestimmt aus der Länge und dem Querschnitt, im voraus ermittelt worden ist, so daß man ein vollständiges Urteil über die Leistungen des Apparates, d. h. seine Schwingungszahl haben kann. Da bei den höchsten Anforderungen an die Manometer die Verbindung zwischen Kanüle und Manometer möglichst starr sein muß, empfiehlt es sich, nach meinen Erfahrungen eine Verbindung durch Metallkonus zu benutzen. (S. Kap. 6 und 8.)

Die Manometer, die man zur Messung des arteriellen Drucks verwenden kann, sind in dem Teil I beschrieben. Ich erwähne hier nochmals das Hebelfedermanometer von Frank und Petter und das Spiegelmanometer von Frank.

Vor der Ausbildung der Kritik der Manometer sind eine Reihe von Methoden angegeben worden, durch die der Druck in der Arterie ohne Anwendung eines mit der eröffneten Arterie verbundenen Manometers bestimmt werden sollte. Man ist dabei von der Voraussetzung ausgegangen, daß der Sphygmograph, besonders der von Marey konstruierte, ein Instrument ist, das die Druckschwankungen richtig registriert. In dem Teil I ist gezeigt worden, daß die Leistungen des Sphygmographen, besonders diejenigen des Mareyschen, beschränkt sind und daß er nur dann richtig registriert, wenn geringe Anforderungen an ihn gestellt werden, wie etwa bei der Registrierung des Radialispulses. Es erscheint daher nicht

notwendig, auf die immerhin ein gewisses technisches Interesse bietenden Untersuchungen von Talma (1880) und Magnus (1896) näher einzugehen (siehe auch Kap. 10). Landois (1874) hat gemeint, die Kurve der Druckschwankungen in den Arterien ohne Anwendung eines Instrumentes dadurch aufschreiben zu können, daß er das Blut aus der Arterie in einem Strahl auf eine bewegte Papierfläche spritzen ließ. Er nannte dies Verfahren Hämautographie. Gelegentlich findet man noch jetzt die Angabe, daß auf diese Weise die Kurve unbedingt richtig dargestellt würde. Dies ist ganz abgesehen von der technischen Unvollkommenheit der Methode natürlich nicht der Fall, da bei ihr ebenso Trägheitskräfte und Reibungskräfte in Aktion treten, wie bei jedem Manometer (s. Kap. 10).

C. Technisch interessante Druckbestimmungen. Der Druck in den Koronararterien.

Von den Untersuchungen des arteriellen Blutdrucks, die ein gewisses technisches Interesse bieten, erwähne ich hier die Blutdruckbestimmungen von Pawlow (1879), die er beim dressierten unvergifteten Hund durchführte, weiter die Arbeit von Tangl und Zuntz (1898), durch welche der Blutdruck bei einem im Treibrad arbeitenden Hund durch Metallmanometer bestimmt wurde.

Die Methode, mit der Hofmeister (1888) den Blutdruck bei Kaltblütern bestimmt hat, gebe ich hier mit seinen eigenen Worten wieder. (S. 362/363.) Der Blutdruck wurde durch Gummimanometer gemessen.

„Einige kurze Notizen mögen dazu dienen, ein Bild der Versuchsmethode zu geben.“

„Die Kröten wurden auf einem Brettchen an den vier Extremitäten meist in Bauchlage festgebunden und außerdem noch in halber Höhe des Kreuzbeins oder etwas tiefer durch beiderseits eingesetzte Haken festgehalten, um die oft sehr heftigen Bewegungen der muskelkräftigen Tiere möglichst zu beschränken und die Verbindungsstelle von Arterie und Kanüle vor Zerrung zu schützen. Für Schlangen konnte ich, da ein Anbinden ohne Behinderung der Atmung und der Zirkulation nicht möglich war, keine andere Befestigungsart finden, als daß ich sie mittels feiner Nägel, welche je nach Bedürfnis in größerer oder geringerer Entfernung durch aufgehobene Hautfalten gesteckt wurden, auf einem Leistenstück festnagelte.“

„Um Blutverluste möglichst zu vermeiden, wurden alle bei der Präparation im Wege liegenden Gefäße doppelt unterbunden und durchschnitten; auch wurde die Arterie vor Einführung der Kanüle mit einer feinen Charriere-Pinzette (deren Branchen zur Vermeidung von Verletzungen mit feuchten Wattepölsterchen bekleidet waren) zugeklemmt. So war von dieser Seite dafür gesorgt, daß das Herz seine normale Füllung beibehielt; andererseits wurde, um überhaupt Schädlichkeiten von demselben fernzuhalten, der Ort der Einführung stets möglichst weit nach der Peripherie zu gelegt. Bei Kröten führte ich die Kanüle in der Regel in die Arteria cruralis ein; in einer Anzahl von Versuchen benutzte ich die Aorta communis und in noch andern den einen Aortenbogen, um die Form der Pulse in verschiedener Entfernung vom Zentrum studieren zu können. Bei Ringelnattern fand die Kanüle stets in der Aorta abdominalis ca. 25—50 cm vom Herzen

ihren Platz. Als Übertragungsflüssigkeit diente eine 25% Lösung mit Magnesiumsulfat."

1872 ist es Rebatel unter der Leitung von Chauveau gelungen, zu gleicher Zeit den Druck und die Geschwindigkeit in den Koronararterien zu bestimmen. Er führte eine T-Röhre in die rechte Koronararterie eines Pferdes ein und verband sie mit einem Hämodromographen, während zu gleicher Zeit der Druck in der Aorta oder auch der Druck in der Koronararterie aufgeschrieben wurde. Marey sagt S. 329 der Zirkulation, daß diese Operation wohl eine der schwierigsten gewesen ist, die je ein Physiologe ausgeführt hat. Martin und Sedgwick (1882) gelang es, ebenfalls eine Kanüle bei dem Hund in die Koronararterie während eines Herzstillstandes durch Vagusreizung einzuführen und mit einem Manometer zu verbinden. Porter (1898) hat den Druck in der linken Koronararterie eines Hundes folgendermaßen registriert: Das Herz des Tieres wurde freigelegt, der Ramus descendens der linken Koronararterie wurde etwa 2 cm von seinem Ursprung unterbunden und eine Kanüle in das zentrale Ende eingelegt. Die Kanüle wurde dann durch einen dickwandigen, aber biegsamen Gummischlauch mit einer Glasröhre verbunden, die zu einem Hürthleschen Membranmanometer führte. Die von Porter S. 152 reproduzierten Kurven zeigen das volle Gelingen des Versuchs. Auch Talianzew (1896) hat in die Koronararterie unter dem linken Herzohr ein Manometer eingesetzt.

Bei weitem die wichtigsten Versuche über den Koronarkreislauf wurden an dem ausgeschnittenen und durchbluteten Warmblüterherzen, vor allen Dingen von Porter (s. u. a. 1889, S. 152ff) und seinen Schülern, außerdem von Langendorff und seiner Schule ausgeführt. Über diese Versuche ist in dem Kapitel 24 berichtet worden. Ich mache hier nochmals besonders auf die Untersuchungen von Bohr und Henriques (1895) aufmerksam, die einen beschränkten Kreislauf herstellten und aus dem Unterschied des Stromvolumens in der Aorta und Pulmonalis die Blutmenge bestimmten, welche das Herz durchströmt.

Aus den Untersuchungen, die an dem ausgeschnittenen Warmblüterherzen angestellt worden sind, ist auch vorzugsweise auf die vasomotorischen Wirkungen an den Koronargefäßen geschlossen worden. Mit dieser Frage haben sich außerdem Martin (1891) und Roy und Adami (1892) beschäftigt.

Der Vollständigkeit halber erwähne ich hier noch von den Versuchen über die Wirkung eines Verschlusses der Koronararterien diejenigen, die ein technisches Interesse haben: Sée, Bochefontaine et Roussy haben Lycopodium in eine Koronararterie eingespritzt. Porter (1896) hat einen Glasstab von der Subclavia aus bis zum Sinus Valsalvae zum zeitweiligen Verschluß der Koronararterien eingeführt. Kronecker (1896) hat die Koronararterien mit Paraffin ausgespritzt. Im übrigen vergleiche man die Kritik, besonders der älteren Versuche über die Wirkung einer Unterbindung von Koronararterien in Tigerstedts Lehrbuch S. 191 bis 193. (S. auch v. Frey 1894.)

Bohr und Henriques 1895. Über die Blutmenge, welche den Herzmuskel durchströmt. (Physiol. Institut Kopenhagen.) Skandinav. Arch. f. Physiol. V, p. 232.

v. Frey 1894. Die Folgen der Verschließung von Kranzarterien. Zeitschr. f. klin. Med. XXV. S. 158.

Hofmeister 1888. Beiträge zur Lehre vom Kreislauf der Kaltblüter. Arch. f. d. ges. Physiol. XLIV, p. 360.
Kronecker 1897. Über Störungen der Koordination des Herzkammerschlages. Z. f. Biologie XXXIV, p. 529.
Landois 1874. Hämautographie. Pflügers Arch. IX, p. 71.
Magnus 1896. S. Kap. 15.
Martin 1891. Trans. Med.-Chir. Fac. of Maryland,
Martin and Sedgwick 1882. Observations on the mean pressure and the characters of the pulsewave in the coronary arteries of the heart. Journ. of physiol. Bd. III.
Pawlow 1879. Über die normalen Blutdruckschwankungen beim Hunde. (Physiol. Labor. v. Ustimowitsch, St. Petersburg.) Arch. f. d. ges. Physiol. XX, p. 215.
Porter 1896. Weiteres über den Verschluß der Koronararterien ohne mechanische Verletzung. Zentralbl. f. Physiol. IX, S. 481 und 641.
Porter 1898. The influence of the heart-beat on the flow of blood through the wall of the heart. (Physiol. Labor. Harvard School, Boston.) Amer. journ. of physiol. I, p. 145.
Rebatel 1872. Recherch. expér. sur la circ. dans les artères coronaires. Paris, Thèse.
Roy and Adami 1892. Contributions to the physiology and pathology of the mammalian heart. (Pathol. Labor. Cambridge.) Philos. Transact. Roy. Soc. CLXXXIII, p. 199.
Sée, Bochefontaine et Roussy 1881. Arrêt rapide des contractions rythmiques des ventricules cardiaques, sous l'influence de l'occlusion des artères coronaires. C. R. XCII., p, 86.
Talianzew 1896. Zur Frage über den Kreislauf in den Kranzarterien des Herzens. Med. Rundschau XLV., p. 506.
Talma 1880. S. Kap. 15.
Tangl und Zuntz 1898. Über die Einwirkung der Muskelarbeit auf den Blutdruck. (Physiol. Labor. landwirtsch. Hochschule Berlin.) Arch. f. d. ges. Physiol. LXX, p. 544.

Kapitel 38.

Der arterielle Puls.

A. Die Sphygmographie als bewegungsregistrierende Methode aufgefaßt.

Wie ich in Teil I (Kap. 13 und 17) auseinander gesetzt habe, gibt es außer der dort behandelten gewöhnlichen auch eine bewegungsregistrierende Sphygmographie. Am reinsten ist diese Methode scheinbar in der optischen Registrierung durch den Pulsspiegel repräsentiert (s. unten). Auch durch optische Transmission, wie sie von mir angewandt worden ist, kann eine solche Registrierung bewirkt werden.

Der Pulsspiegel ist schon frühe angewandt worden. Zunächst von Czermak (1862/64), dann von Bernstein (1890). Von diesen Autoren ist ein Spiegelchen auf die Stelle der Arterie aufgeklebt worden. Seine Bewegungen sind in der bekannten Weise beobachtet und von Bernstein photographiert worden. Ein wesentlicher Nachteil dieser Anordnung besteht in der großen Unbequemlichkeit ihrer Handhabung. Es ist begreiflich, daß der Arm in eine Zwangslage gebracht werden muß, wenn, wie erforderlich, das Spiegelchen an den richtigen Punkt des Strahlengangs gebracht werden soll und außerdem so gelagert werden muß, daß durch seine Bewegung eine senkrecht auf und ab gehende Bewegung des von ihm reflektierten Strahles bewirkt wird. Noch mehr kommt in Betracht, daß die Kon-

stanten des Instrumentes unbekannt sind, vor allen Dingen die Elastizitätskonstante. Sie hängt davon ab, in welcher Ausdehnung das Spiegelchen angeklebt ist, wie fest es angeklebt ist usw., d. h. von einer Reihe nicht kontrollierbarer Momente. Die Methode bietet keinerlei Vorteile vor der von mir angegebenen Transmissions-Sphygmographie. Sie ist zu einer Zeit bevorzugt worden, als eine Kritik der Leistungen der Apparate noch nicht gegeben war, d. h. zu einer Zeit, in der man ein oder das andere Moment, das die Leistungen beeinflußt, als das allein wesentliche — hier die Verringerung der Masse — in Betracht zog, während man die übrigen vernachlässigte.

Cowl (1900) hat eine sogenannte lineare Kinematographie des Pulses empfohlen. Sie soll darin bestehen, daß der Schatten eines Papierblättchens das auf die pulsierende Stelle aufgeklebt ist, photographiert wird. Im allgemeinen gilt für diese Methode dasselbe, was über den Czermakschen Pulsspiegel gesagt worden ist. (Vergl. auch die mir nicht zugängliche Mitteilung von Hofmann 1907.)

Daß gelegentlich für einen bestimmten Zweck derartige Methoden angewandt werden können, ist selbstverständlich. Eine besondere Bedeutung für die Pulsregistrierung besitzen sie nicht.

B. Andere Methoden der Sphygmographie.

Landois (1902), Ducceschi (1903), Lombard und Sidney (1905) haben Verfahren angegeben, um die Längenveränderungen, welche die Arterien durch den Puls erfahren, graphisch zu registrieren.

Landois (1902) zeichnet „Längenpulse“, d. h. die pulsatorische Verlängerung der Arterie, an Tieren mittels eines die isolierte Arterie emporziehenden Häkchens auf, das an einem zweiarmigen Schreibhebel angreift; die Kurven sind den Dickenkurven analog. Die Geschwindigkeit der Pulswelle mißt er mittels eines „Sphygmokygraphen“ oder „Sphygmokymeters“ (von ὠκύς, schnell), bei welchem der Puls zweier Arterienstellen den Strom je eines Elektromagneten schließt; beide wirken auf einen Schreibhebel, so daß derselbe sich zweimal treppenartig hebt; die Zeitmessung geschieht dadurch, daß der Schreibhebel selbst mittels Elektromagnet und Stimmgabel vibriert (200 mal p. Sek.).

Hörbar macht Landois Pulserscheinungen durch das „Gas-Sphygmo-, resp. Kardiophon“, eine leicht ansprechende Hohlkugelpfeife, die mit einer auf der Arterie liegenden Mareyschen Kapsel und einer Gasleitung kommuniziert; das schwache Tönen wird bei jedem Puls dikrotisch verstärkt, auch kann man zwei Arterienstellen einwirken lassen, um die Ungleichzeitigkeit des Pulses zu zeigen, u. dergl. m. (Referat von Hermanns Jahresbericht 1902.)

Dasselbe Phänomen hat Sommer (1907) auf dem Internationalen Physiologenkongreß demonstriert. Sein Instrument nennt er Pulsophon. Die Pulsfrequenz soll hierdurch für ein größeres Auditorium hörbar gemacht werden.

Kronecker (1907) verzeichnet die pulsatorischen Schwankungen dadurch, daß er durch sie eine in einer ausgeschnittenen Vene befindliche Quecksilbermasse in Bewegung versetzt. Das Quecksilber steigt in einer mit einem Seitenast der Vene verbundenen Kapillarröhre empor. Die Bewegungen seines Meniskus sollen photographiert werden.

Das Kroneckersche Instrument ist im wesentlichen eine Modifikation des im Jahre 1834 von Hérisson konstruierten Sphygmometers. (La circulation S. 207.)

C. Sphygmographie der bloßgelegten Arterie.

Zur Sphygmographie der bloßgelegten Arterie benutzt man am besten eine Vorrichtung wie sie Talma (1880 s. Kap. 10) angegeben hat.

Sein „Tonometer“ besteht aus einer kanalförmigen Messingplatte, in welche die Arterie eingelegt wird. An die Arterie wird eine Pelotte angedrückt, deren Bewegungen mit Hebelvergrößerung aufgeschrieben werden. Ebenso ist Magnus (1896) verfahren.

In der Abhandlung von Hirschmann (1894) ist eine ähnliche von Hürthle angegebene Vorrichtung beschrieben.

Über die Verwendung derartiger Apparate zu Blutdruckregistrierungen s. Kap. 10 und 37.

Hier bietet sich für die optische Transmission wohl ein weites Feld.

D. Geeignete Stellen für die Aufnahme des Sphygmogramms.

Bei dem Menschen wird der arterielle Puls gewöhnlich an der Radialis aufgenommen. Vor der Anlegung des Apparates bezeichnet man die stärkst pulsierende Stelle am besten mit einem Hautstift. Für die Aufnahme des Carotispulses empfiehlt Edgren (1889) die Stelle unmittelbar unter dem Unterkieferwinkel, für die Femoralis unter dem Poupartschen Band.

Tigerstedt (1908) hat den Aortenpuls bei einem Kranken, dem ein Teil der Brustwand entfernt war, mit dem Mareyschen Kardiographen und der Blixschen Registrierkapsel aufgenommen.

Bernstein 1890. Sphygmophotographische Versuche. Fortschritte d. Med. No. 4.
Cowl 1900. Über lineare Kinematographie, insbesondere die Photographie des Pulses. (Physiol. Ges. Berlin.) Arch. f. Anat. u. Physiol. p. 331.
Czermak 1862. Sphygmische Bemerkungen. Wiener Sitzungsberichte XLVII, p. 438.
Czermak 1864. Sphygmische Studien. Mitteilungen a. d. Privatlaboratorium, p. 24.
Ducceschi 1903. Un nuovo metodo di sfigmografia. Archivio di fisiol. I, p. 79.
Edgren 1889. Kardiographische und sphygmographische Studien. Skandin. Arch. f. Physiol. I, p. 67.
Hérisson 1834. Le sphygmomètre, instrument qui traduit à l'oeil toute l'action des artères.
Hirschmann 1894. S. Kap. 13.
Hofmann 1907. Über einen Apparat für photographische Puls- und Blutdruckaufnahmen. Verh. d. Kongr. f. inn. Med. 24, p. 561.
Kronecker 1907. Kapillarsphygmograph. Arch. internat. d. physiol. p. 75.
Landois 1902. Beiträge zur Pulslehre. Arch. f. d. ges. Physiol. 91, p. 509.
Lombard, Warren and Sidney Budgett 1905. Demonstration of a method of recording the pulse from the longitudinal expansion of an artery. (6 me Congr. intern. Physiol. Bruxelles.) Arch. internat. Physiol. Vol. 2, p. 121.
Magnus 1896. S. Teil I Kap. 10.
Sommer 1907. Demonstration des Pulsophons mit Umsetzung des Pulses in kontinuierliche Tonreihen. (7. Internat. Physiol. Kongr. Heidelberg.) Zentralbl. f. Physiol. Bd. 21, p. 504.
Talma 1880. S. T. I, Kap. 10.
Tigerstedt 1908. Die Pulskurve der Aorta beim Menschen. Skand. Arch. Physiol. 20. S. 249.

Kapitel 39.

Der Blutdruck beim Menschen.

A. Historische Entwicklung der Prinzipien und Beschreibung der Haupt-Typen der Instrumente.

Wenn man sich einmal durch die ungemein ausgedehnte und verwirrende Literatur über die Bestrebungen, den Blutdruck beim Menschen[1]) zu bestimmen (s. d. Literaturverzeichnis), hindurchgearbeitet hat, so ist man erstaunt über die Einfachheit der Prinzipien, die bis jetzt behandelt und zur Ausbildung der Methodik benutzt worden sind, und zugleich über die Vielgestaltigkeit der verschiedenen vorgeschlagenen Konstruktionen.

Das Grundprinzip der Methodik besteht darin, eine meßbare Kraft, einen „Gegendruck“, so von außen auf den Körperteil, in dem man den Blutdruck bestimmen will, und damit auf die Arterien dieses Körperteils einwirken zu lassen, daß er dem Blutdruck das Gleichgewicht hält. Die Bestrebungen, nach diesem Prinzip ein Instrument zu konstruieren, rühren schon von Vierordt (Lehre vom Arterienpuls 1855) her. Die Verwirrung in der Literatur liegt begründet im wesentlichen in der unsicheren und ungenauen Kritik der Methodik, wovon der Hauptfehler die unzuverlässige Feststellung des Punktes betrifft, bei dem der von außen angewandte Druck und der in der Arterie herrschende der gleiche ist. Bei allen theoretischen und experimentellen Untersuchungen hat man sich mit der Hervorhebung eines oder des anderen mechanischen Momentes begnügt, das für die Leistungen der Methodik von Bedeutung sein könnte, ohne sie alle zu berücksichtigen und ihre Bedeutung abzuschätzen. Die bis jetzt vorgenommene physikalische Betrachtung der schwierigen Probleme ist höchst elementar und damit unzulänglich. Besonders muß man sich darüber verwundern, daß man durchweg nur versucht hat, die Gesetze der Statik heranzuziehen, während die Probleme im allgemeinen dynamischer Natur sind. Hierin kann ich nur der Klage von Sahli (1907 S. 628) beistimmen, wenn ich auch mit seinen weiteren Ausführungen im einzelnen nicht einverstanden bin. Vergl. S. 227.

Die Methoden unterscheiden sich voneinander einmal durch die Art, wie der den arteriellen Druck äquilibrierende Gegendruck ausgeübt wird, und weiter dadurch, wie festgestellt wird, daß dieser meßbare Gegendruck dem arteriellen Druck gleichgeworden ist.

a) Benutzung des Sphygmographen:

Vierordt suchte mit seinem Sphygmographen den Druck der Pelotte zu bestimmen, der notwendig ist, um den Puls zu unterdrücken. Daß diese Methode, bei der eine starre Platte — die Pelotte — gegen die Arterie und ihre Unterlager angepreßt wird, ungenügend ist, geht aus einfachen Betrachtungen hervor. Ich verweise hier auf die sachkundigen Ausführungen von Petter (1906 s. 43ff.), besonders aber auf dessen Abhandlungen (1908),

1) Die Methoden zur Messung des Druckes in den Kapillaren und Venen beim Menschen werden in den Kapiteln 40 und 43 behandelt.

in denen er die verwickelte Abhängigkeit zwischen Blutdruck und Pelottendruck diskutiert. Trotz dieser einleuchtenden Mängel tauchen immer wieder Konstruktionen auf, die auf dem alten Vierordtschen Gedanken beruhen. Hierher gehören die Apparate von Waldenburg (1880), Hoorweg (1889 nach S. 166 nur zu annähernden Messungen bestimmt), Potain (1898/90), Bloch (1888/89 und 1896), ebenso Waltenhoven (1880).

b) Baschsche Gummipelotte mit Flüssigkeit gefüllt.

Im Jahre 1876 wandte v. Basch zum ersten Male einen Flüssigkeitsdruck zur Äquilibrierung des Blutdrucks an. Mit diesem Instrument soll derjenige Außendruck bestimmt werden, der die Lichtung einer größeren Arterie verschließt. Es besteht aus einer mit Wasser gefüllten Druckpelotte, die mit einem Manometer verbunden ist. Anfangs benutzte v. Basch das Hg-Manometer, praktische Gründe veranlaßten ihn aber bald (1883), an Stelle desselben ein Metallmanometer zu setzen. (Prinzip des Aneroïdbarometers.) „Die Pelotte besteht in ihrer neuesten Gestalt aus einem Messingringe, über welchen zwei Kautschukkappen gebunden sind. Die eine dieser Kappen — die Pulskappe — besteht in ihrem Seitenteile aus dickerem Kautschuk, nur der Boden derselben, d. h. jener Teil, den man auf die zu komprimierende Arterie aufsetzt, besteht aus dünnem Kautschuk. Die zweite Kappe — die Druckkappe — ist aus einer gleichmäßig starken Kautschukplatte gefertigt. Die durch diese beiden Kappen und den Metallring begrenzte Höhlung ist durch einen dünnen und ziemlich starrwandigen Kautschukschlauch von 20 cm Länge mit dem Innern des mit Luft gefüllten Metallmanometers verbunden.



Fig. 31.
Sphygmomanometer von Basch.
(Aus Janeway 1904.)

Die Methode der Blutdruckmessung mit dem Sphygmanometer ist eigentlich eine sehr einfache. Man setzt die Pelotte auf eine freiliegende, auf fester Unterlage ruhende Arterie, befühlt möglichst nahe dem Rande der Pelotte, selbstverständlich da, wo die Arterie heraustritt, mit dem Finger den Puls und drückt nun die Pelotte so fest auf, bis der fühlende Finger keinen Puls verspürt. Der jetzt vom Manometer angezeigte Druck stellt den zu bestimmenden Wert dar. (Tigerstedt Lehrbuch 1893.) Basch und seine Schüler behaupteten, nachgewiesen zu haben, daß mit dem Instrument der wirkliche Blutdruck im großen ganzen bestimmt werden kann, wenn die freigelegte isolierte Arterie auf einer festen Unterlage ruht. Da dies aber bei dem Menschen nicht zutrifft, so werden bei der Druckmessung eine Reihe von Fehlern begangen. Der durch die Gewebe aufgehobene Druck kann 6—8 mm betragen. Dadurch, daß die Arteria radialis nicht unmittelbar auf der Knochenunterlage aufliegt, wird ein Fehler von 20—60 mm Quecksilber begangen. Zum Verschließen der leeren Arterie ist nach Basch bei Nor-

malarterien ein Druck von 1 mm, bei sklerosierten Arterien ein solcher von 5 mm nötig. Die Unsicherheit, den Moment des Unterdrückens der Pulse oder des Wiedererscheinens der Pulse zu bestimmen, bedingt einen Fehler von 5 mm Quecksilber. Bei der Summation dieser Fehler resultieren nach Tigerstedt Lehrbuch S. 331 32—78 mm Quecksilber Fehlbestimmung. Wenn auch danach die absoluten Werte nur ungenau bestimmt werden können, so konnte das Instrument doch zu vielen angenäherten klinischen Druckbestimmungen benutzt werden, falls die Beobachter sich mit der richtigen Handhabung des Instrumentes und seinen Fehlern genügend vertraut gemacht hatten. Auf der andern Seite ist kein Zweifel, daß das Baschsche Instrument in seinen Leistungen wesentlich übertroffen wird durch diejenigen Apparate, bei denen eine möglichst allseitige Kompression der Arterie versucht wird. Deshalb darf man diese Methode, wenn sie auch noch hier und da, besonders wegen der Bequemlichkeit ihrer Anwendung, Verteidiger findet (s. Hirsch 1901, auch François Franck 1908 findet Momente, die für das Basch-Potainsche Instrument sprechen), als veraltet betrachten (eine Zusammensstellung der mit dem Baschschen Instrument ausgeführten Untersuchungen, gibt Rosen 1891). Die hier ausgesprochene Kritik trifft auch diejenigen Apparate, welche die Baschsche Pelotte, aber ein anderes Kriterium für die Feststellung des Gleichgewichtes zwischen dem arteriellen und dem Pelottendruck verwerten; so das Instrument von Oliver (1898, eigenartiges Federmanometer, durch hohle Metallröhre mit einem kleinen flüssigkeitgefüllten Gummiballon verbunden: die Radialisstelle wird so lange komprimiert, bis die Oszillationen der Nadel ihr Maximum erreichen, dadurch mittlerer arterieller Druck bestimmt), von Hill und Barnard (1898; Glasröhre am oberen Ende mit kleiner Hohlkugel verschlossen, am unteren Ende Trichter mit Gummiblase; in der Glasröhre gefärbte Flüssigkeit, Beobachtung der maximalen Pulsationen. Die Ausschläge des Luftmanometers werden vorher geeicht), von Potain 1902 (geringe Modifikation des Baschschen Instrumentes) und Edgecombe und Bain (1899).

c) Methode von Marey. Vorderarm in einen Plethysmographen eingeschlossen.

In demselben Jahre wie Basch (1876[1])) entwarf Marey die Prinzipien eines Instrumentes, das die wesentlichsten Fehler der Baschschen Konstruktion vermeidet.

Ich beschreibe den Apparat nach einem Referat von Janeway (1904, S. 50). Marey beabsichtigte, die Blutgefäße von allen Seiten zu komprimieren. Der Apparat (Fig. 32) besteht aus einer Metallbüchse, die an einer Stelle ein Glasfenster hat. Die Büchse wird mit Wasser gefüllt und in sie wird durch eine Gummibinde der Vorderarm und die Hand eingedichtet. Die Gummibinde schließt die Öffnung der Büchse ab. Die Büchse ist mit einem Quecksilbermanometer samt registrierender Kapsel verbunden, und außerdem mit einem Reservoir, durch dessen Hebung der Druck gesteigert werden konnte. Die Exkursionen des Schreibhebels sind anfangs klein.

1) Nach einer Angabe in: „La methode graphique" S. 612 hat Marey diese Methode schon im Jahre 1866 ausgearbeitet.

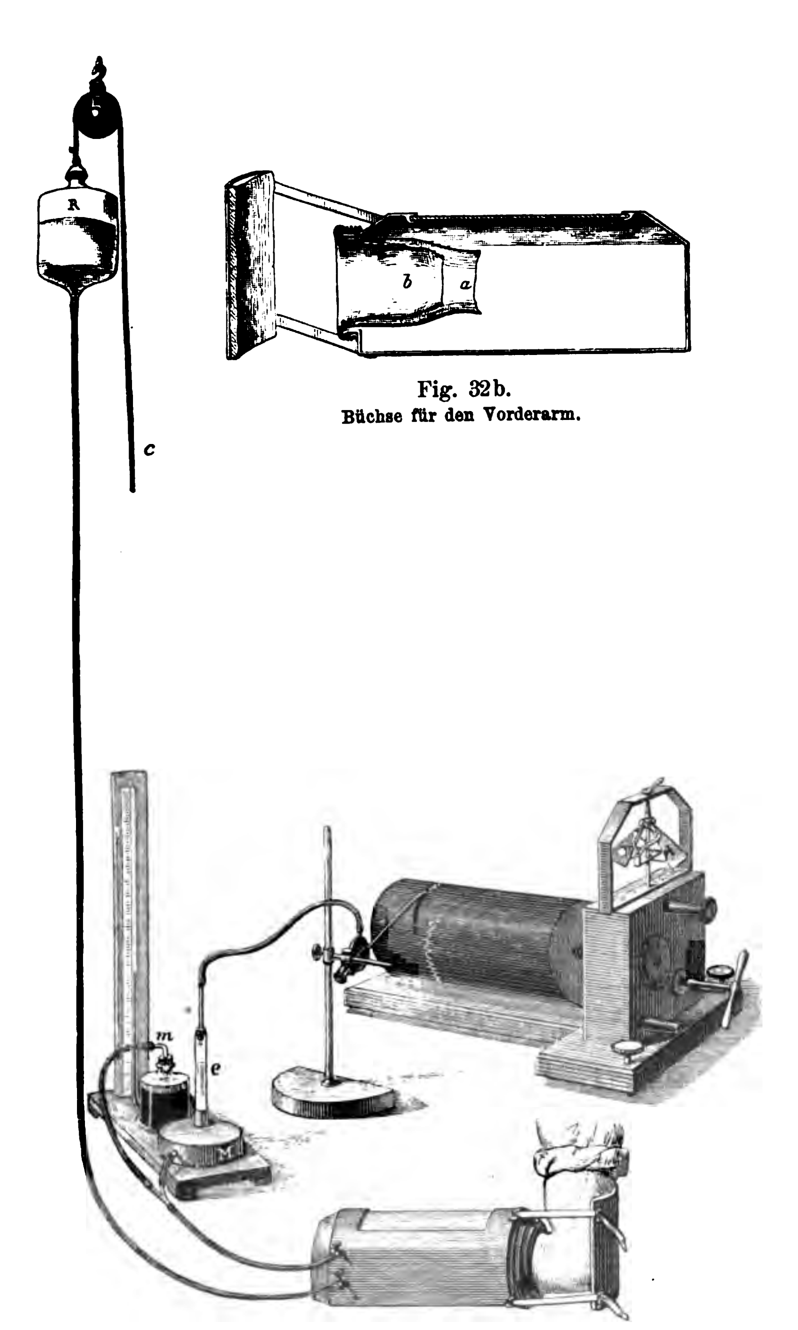


Fig. 32b.
Büchse für den Vorderarm.

Fig. 32a.
Apparat von Marey. Gesamtanordnung.

nehmen an Amplitude bis zu einem Maximum zu, und dann wieder ab. Lange ehe sie aufhören, erbleicht die Haut der Hand, wodurch das Zusammenfallen der Gefäße angezeigt wird. Marey schloß, daß in dem Moment, wenn die Pulsationen ihr Maximum erreichen, der äußere Druck gleich dem Druck in den Blutgefäßen ist, da ihre Wände dann, wenn sie von keiner Seite eine Spannung bekommen, maximale Oszillationen ausführen. Er schlägt dies als ein neues Kriterium für die indirekte Messung des Blutdrucks vor.

Da die Anwendung dieses Instrumentes zu umständlich ist und die Abdichtung des Zylinders nur schwer gelingt, hat Marey 1880 ein Instrument



Fig. 33.
Apparat von Mosso. (Aus Janeway 1904.) Beschreibung S. 221.

konstruiert, bei dem nur der Finger eingeschlossen ist. Der Finger ist bedeckt mit einer Kautschukkappe, die über den Rand des kleinen Plethysmographen geschlagen ist. Im übrigen sind Konstruktion, Prinzip und Handhabung dieselben wie beim älteren Instrument.

Roy und Adami haben (1890) dasselbe Prinzip der maximalen Ausschläge zur Bestimmung des Blutdruckes beim Menschen benutzt. (Fußnote in Schäfers Textbook II S. 80.)

Wie man sieht, verwendet Marey für die Entscheidung, ob der von außen angewendete Druck dem Blutdruck gleichkommt, ein neues Kriterium. Der äußere Druck ist gleich dem Blutdruck, wenn das Quecksilbermanometer

die größten Exkursionen ausführt. Dieses Prinzip ist später in mehr oder weniger veränderter Form von vielen Forschern benutzt worden. So auch bei den Modifikationen des Baschschen Instrumentes, die von Oliver (1898) und Hill und Barnard (1898) angewendet wurden. Marey gibt für das Phänomen die folgende Erklärung: Bei den niederen Gegendrücken wird nur der kleinste Teil des arteriellen Drucks nach außen übertragen, der größte im Gleichgewicht gehalten durch die Elastizität der arteriellen Wand. Wird der Gegendruck erhöht, so wird ein kleinerer Teil des arteriellen Drucks von der Wand und „ein größerer Teil seiner Veränderungen durch das Manometer getragen, das weniger unvollständig als zuvor die

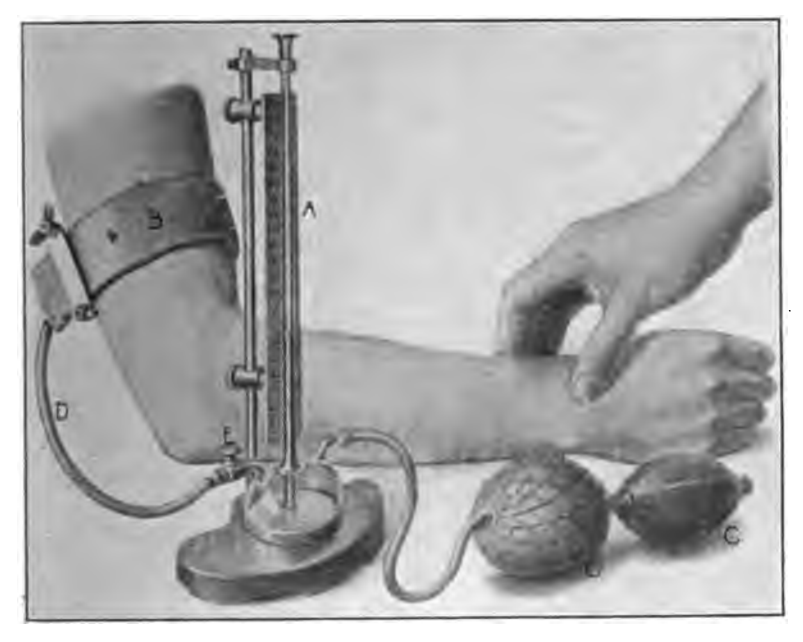


Fig. 34.
Verfahren von Riva-Rocci. (Aus Janeway 1904.) Beschreibung S. 222.

rhythmischen Veränderungen des Druckes wiedergibt“. Die Schwankungen werden maximal, „wenn die Wände frei flottieren, und der ganze arterielle Druck wird so, als ob die Arterienwände nicht existierten, auf das Manometer übertragen.“ Bei weiterer Steigerung des Gegendrucks wird die Arterie nach und nach zusammengedrückt. (Marey Methode graphique 1885 S. 611/12) Daß diese Erklärung nicht stichhaltig ist, wird in Abschnitt E dieses Kapitels erörtert.

Da die Ausschläge mit dem Mareyschen kleineren Apparat oft sehr gering sind, hat Mosso (1890 und 1895) bei seiner Konstruktion je zwei Finger jeder Hand in den Plethysmographen eingeschlossen. (S. Fig. 33). Im übrigen ist das Instrument mit dem Mareyschen identisch. (S. a. Colombo 1899, Kiesow 1895, Binet et Vaschide 1897.)

Der wesentlichste Nachteil des Mareyschen zweiten Instrumentes und des Mossoschen Sphygmomanometers besteht darin, daß die Druckmessung für die kleinen Fingerarterien stattfindet, deren Lumen außerordentlich mit der Temperatur wechselt und die gegenüber dem Aortendruck einen stark verminderten Blutdruck zeigen. Man darf ebenso wie bei dem Gärtnerschen Verfahren, bei dem ebenfalls der Fingerblutdruck gemessen wird (s. unten S. 226) die Beobachtungen nur an dem warmen Finger anstellen.

d. Die Manschette von Riva-Rocci.

Im Jahre 1896 ist von Riva-Rocci ein Verfahren ausgebildet worden, das eine Reihe von Mängeln, sowohl technischer als prinzipieller Natur, der bisherigen Methoden vermeidet. **Das Verfahren ist denn auch, abgesehen von einigen Modifikationen, in neuerer Zeit zu ganz allgemeiner Anwendung gelangt.** Riva-Rocci legt um den Oberarm eine Manschette, deren beide Blätter einen geschlossenen Hohlraum umschließen. Die Wände bestehen aus Gummi. Die Manschette wird um den Arm gelegt und mit Luft durch einen Ballon, ein Gebläse oder eine Pumpe, gefüllt Der Druck der Luft kann an einem Quecksilbermanometer abgelesen werden Man erhöht den Druck in der Manschette so lange, bis der Puls in der radialis verschwindet. Die Abbildung auf der vorhergehenden Seite erläutert genügend die Konstruktion und die Anwendung des Instrumentes.

e. Bestimmung der pulsatorischen Druckschwankung.

Während mit diesen früheren Methoden der mittlere Blutdruck oder, ohne daß man sich bestimmte Vorstellungen über den Begriff des mittleren Blutdrucks gemacht hatte, angenähert der Blutdruck bestimmt werden sollte, hat Hürthle (1896) ein Verfahren ausgearbeitet, mit dem unmittelbar der Blutdruck und seine Schwankungen registriert werden sollten. Dies würde selbstverständlich die Bestimmung des sogenannten systolischen und diastolischen Drucks, d. h. des maximalen und minimalen Drucks eines Herzpulses (Frank, 1899 S. 17) involvieren, die in vielen klinischen Arbeiten eine Rolle spielt. Vergl. S. 225. Das Verfahren von Hürthle schließt sich an die Mareysche Methode an, ist aber in wesentlichen Punkten eigenartig. Das Prinzip des Verfahrens besteht darin, daß der durch eine Esmarchsche Binde vorher blutleer gemachte Vorderarm wasserdicht in einen mit Wasser gefüllten Glaszylinder eingesetzt wird, der mit einem elastischen Manometer in Verbindung steht. Eine Binde um den Oberarm, die vorher das Blut von dem Vorderarm nach Lösung der Esmarchschen Binde abgehalten hat, wird nach dem Einführen des Vorderarms entfernt. Nun strömt Blut in den Vorderarm hinein, und seine Druckschwankungen werden von dem Manometer aufgeschrieben. Die Hauptaufmerksamkeit erfordert bei dieser Methode die wasserdichte unverschiebliche Einfügung des Vorderarms in den Zylinder. (S. oben das Verfahren von Marey.) Ich gebe daher diesen Teil der Beschreibung der Methode mit den Worten des Autors wieder (s. Fig. 35 und 36):

„Zur Aufnahme des Vorderarms dient ein Glaszylinder C, der seitlich zwei durch Hähne H_I H_{II} verschließbare Ansätze hat; sie dienen zur Füllung des Zylinders mit Wasser; am vorderen Ende hat der Zylinder eine Öffnung zur Verbindung mit dem Manometer, die gleichfalls durch einen Hahn H_{III} verschließbar ist. Auf die hintere Öffnung ist ein

Messingring R. aufgeschraubt, der aus einer Anzahl ähnlicher, je nach der Stärke des Armes ausgewählt wird; seine lichte Weite muß nämlich so groß sein, daß der Vorderarm der Person, an welcher der Versuch gemacht werden soll, nur etwa bis zur Mitte eingeführt werden kann und die Öffnung verschließt. Da der Arm den Zylinder aber wasserdicht abschließen muß, und ein solcher Verschluß durch das einfache Einpressen des Armes in den Zylinder nicht zu erreichen ist, wird in den Zylinder ein Gummiärmel G eingestülpt, welcher am Metallring befestigt ist, und in diesen wird der Arm eingeführt. Auf diese Weise kann der Raum zwischen Zylinder und Arm vollkommen wasserdicht abgeschlossen werden; die Einführung des Ärmels ist auch ohne Einfluß auf die Druckmessung, da der Druck durch den dünnen, leicht beweglichen Ärmel hindurch vollkommen übertragen wird. Die Befestigung des Ärmels am Metallring geschieht in der



Fig. 35.
Blutdruckregistrierung nach Hürthle.

Weise, daß das aus dem Zylinder hervorragende umgebogene Ende des Ärmels durch eine Manschette aus Hartgummi (M) gegen den Metallring mittels Schrauben gepreßt wird."

„Der eigentliche Zweck dieser Hartgummimanschette liegt aber in folgendem Umstand: Wenn man dieselbe wegläßt und den Gummiärmel auf den Metallring festbindet, so sieht man beim Versuche, daß mit jedem Pulsschlag durch die Steigerung des Druckes im Zylinder die Haut des Armes aus der Öffnung hervorgedrängt wird; es wird also ein Teil des arteriellen Druckes zur Verschiebung der Haut verwendet, während er doch ausschließlich zur Einstellung des Manometers dienen sollte. Diesem Übelstand wird durch Aufsetzen der Manschette vorgebeugt; sie ist nämlich schwach kegelförmig gearbeitet, so daß sie sich dem Arm anschmiegt, und ihre Innenfläche ist mit Hohlkehlen versehen, in welchen sich die Haut fängt, wenn sie nach rückwärts gedrängt wird."

„Um den Zylinder am Arm zu befestigen, wird er gegen den rechtwinklig gebogenen

Oberarm angedrückt. Zu diesem Zwecke kommt der Zylinder auf ein Gestell, welches im wesentlichen aus zwei Metallschienen (s. Fig. 35) besteht, am hintern Ende derselben befindet sich senkrecht zu ihrem Verlauf ein Widerlager in Form eines Holzbrettchens, gegen welches der Ellbogen anstößt; gegen dasselbe wird auch der Zylinder durch eine Führungsstange (s. Fig. 36) angezogen, welche mit dem Messingring R verbunden ist.“

Um darüber zu entscheiden, ob mit diesem Instrument wirklich der Blutdruck und die Blutdruckschwankungen bestimmt werden, stellt Hürthle folgende Überlegungen an. Der Blutdruck wird nur dann korrekt bestimmt, wenn die Arterienwand vollständig entspannt ist. Daß dies im allgemeinen der Fall war, schließt Hürthle schon daraus, daß die Blutmenge, die der Vorderarm bei dem Wiedereinströmen des Blutes faßte, ziemlich bedeutend, etwa 60 ccm war. Er hat sie dadurch bestimmt, daß er nach Öffnung des einen Hahns des Zylinders die Wassermenge gemessen hat, die aus dem

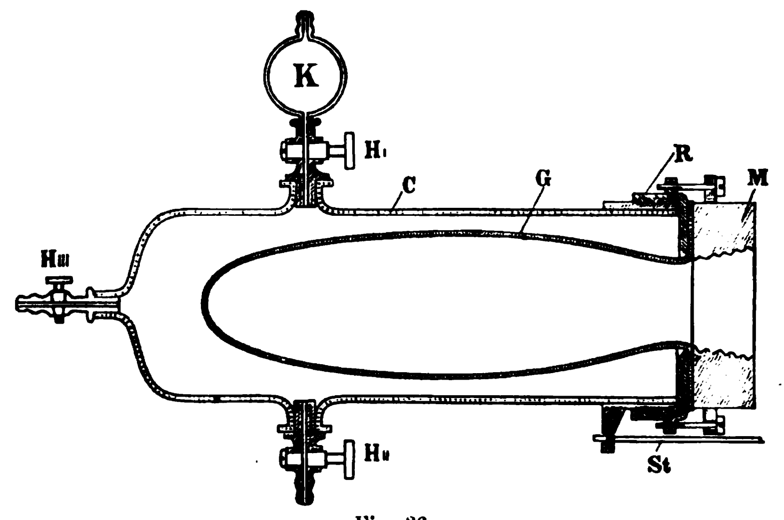


Fig. 36.
Büchse für den Vorderarm zu Fig. 35.

Zylinder ausfließt. Sie ist gleich der Blutmenge, die in den Vorderarm nach der Öffnung des Hahns eingeflossen ist.

„Die Aufgabe, den arteriellen Blutdruck auf die beschriebene Weise zu messen, kann also nur dann vollkommen gelöst werden, wenn die Blutmenge, welche die Arterien des Vorderarms beim Druckwert 0 fassen, genügt, um, in den Zylinder gepreßt, das Manometer auf die Höhe des arteriellen Druckes zu treiben.“ Diese Blutmenge, welche in den Arterien sich in entspanntem Zustand der Wandung (Hürthle nennt dies ungenau den Druck 0) befindet, schätzt Hürthle auf einige CC. Da aber zur Einstellung des Manometers nur wenige cmm notwendig sind, so wird der Blutdruck von dem Manometer richtig angegeben. „Nur an der Verschlußstelle des Arms ist ein größerer Verlust an Flüssigkeit durch Zurückdrängung der Weichteile denkbar, wenn der Arm die Mündung nicht genau verschließt und sich der Manschette nicht überall anschmiegt. Zum Gelingen des Versuchs ist daher ein

vollkommener Abschluß des Zylinders durch den Arm und völlige Ausfüllung der Manschette unerläßlich.“

„Um die Einstellung des Manometers mit einer möglichst kleinen Flüssigkeitsmenge zu ermöglichen, wird vor der Öffnung der Binde ein gewisser Überdruck im Zylinder hergestellt; er muß nur kleiner sein als das Minimum des arteriellen Druckes, damit er erst durch diesen beim Öffnen der Binde auf die verlangte Höhe gehoben wird. Bei einem gesunden Menschen wird man daher einen Überdruck von 50 mm Quecksilber herstellen dürfen, während für einen zu erwartenden niedrigen Druck, nur ein Überdruck von etwa 20 mm Quecksilber herzustellen wäre.“ In dem letzteren Punkt liegen die Schwierigkeiten des Hürthleschen Verfahrens und zum Teil auch aller anderen Methoden, die eine genaue Feststellung des Blutdrucks und seiner Schwankungen bezwecken. Das Problem ist von Hürthle insofern nicht vollständig behandelt, als die Frage nicht aufgeworfen worden ist, ob die Größe der Schwankungen des Blutdrucks richtig wieder gegeben wird. Wenn man von den dynamischen Betrachtungen absieht, die eine besondere Diskussion erfordern, wäre die Frage so zu stellen gewesen: Ist es zu erweisen, daß die registrierten Blutdruckschwankungen Füllungszuständen der Arterien entsprechen, bei denen die Spannung ihrer Wand angenähert 0 war. Diese Zustände sind begrenzt auf der einen Seite durch das vollständige Zusammenklappen der Arterienwände, auf der andern Seite durch das Auftreten einer Spannung der Arterienwand, die durch einen Überdruck im Arterienrohr gegenüber dem Gegendruck erzeugt wird. Es ist durchaus nicht gesichert, daß diese Forderung bei den Hürthleschen Versuchen erfüllt war. Man wird die von ihm gefundenen Blutdruckschwankungen als auffallend niedrig ansehen können.

Ohne auf das Hürthlesche Verfahren einzugehen, hat v. Recklinghausen später unter Berücksichtigung eines Teils dieser Momente ein Kriterium schaffen wollen, mit dem die Höhe des maximalen und minimalen Drucks bestimmt werden soll. Es ist nach meiner Anschauung ebenfalls unzulänglich. Von allem andern abgesehen, ist auch von ihm zu wenig die Verschiebung der Weichteile berücksichtigt worden. Seine Methode schließt sich eng an das Mareysche Verfahren an. Er macht Rückschlüsse auf die Größe des Blutdrucks aus der Größe der Exkursionen eines mit dem Lumen der Manschette verbundenen Manometers. Als Manometer benutzt er 1901 ein von ihm umkonstruiertes, aber nicht verbessertes Ficksches Federmanometer (S. 128—132), oder ein Quecksibermanometer (S. 98) „das in vieler Hinsicht bequemer als das Federmanometer ist und doch recht scharfe Grenzbestimmungen gestattet“ und im Jahre 1906 wiederum ein modifiziertes Ficksches Hohlfedermanometer, das nach den von ihm angegebenen, aber unvollständigen Konstanten an sich genügend leistungsfähig zu sein scheint. (Kritik des Verfahrens s. unten S. 220.)

Ehe v. Recklinghausen den Apparat von Riva-Rocci zur Bestimmung des maximalen und minimalen Blutdrucks verwendet hatte, wurde schon von Janeway (1901) (auch Hensen 1900, S. 438) vorgeschlagen, mit dem Riva-Roccischen Apparat diese beiden Größen bezw. der Amplitude zu bestimmen. Janeway ist der Meinung, daß zur Unterdrückung des Pulses in der Radialis ein Manschettendruck aufgewendet werden muß, der

dem maximalen Pulsdruck gleich ist, und daß die erste Verkleinerung des Radial-Pulses zustande kommt, wenn der Manschettendruck gleich dem minimalen Pulsdruck ist. Das Verschwinden und das Kleinerwerden des Radialpulses wurde von ihm an der sphygmographischen Kurve festgestellt. Eine ähnliche Methode wandte Masing (1902) und Sahli (1904) an. Strasburger (1904) sucht diese beiden Punkte palpatorisch festzustellen.

f) Rötung der Haut und subjektives Pulsfühlen als Kriterien.

Es erübrigt noch die Methode von Gärtner (1899, 1900 und 1903) zu erwähnen. Gärtner legt einen hohlen Gummiring um den Finger (ähnlich wie Riva-Rocci um den Arm). Der Finger wird zuerst blutlos gemacht, dann der Druck in dem Ring über den maximalen Blutdruck erhöht, dann die Binde, die den Finger blutleer gemacht hat, gelöst, und jetzt so lange der Druck in der Manschette erniedrigt, bis der vorher weiß gewordene Finger sich wieder rötet. Zu gleicher Zeit mit der Rötung wird der Pulsschlag von der Versuchsperson gefühlt, wie das schon früher (u. a. von Hürthle S. 576) festgestellt war. Das Erbleichen der Extremität unter dem wachsenden Druck war schon von Marey bei der Anwendung seines Instrumentes beobachtet, aber nicht methodisch verwertet worden.

Das Phänomen des subjektiven Pulsfühlens, das eintritt, wenn das Glied unter einen bestimmten Druck gesetzt wird, der ungefähr dem arteriellen Blutdruck gleichkommt, ist von v. Frey (1896) methodisch verwertet worden. Der Blutdruck wird nach dieser Methode dadurch geschätzt, daß die Extremität in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß so weit hinabgetaucht wird. bis der Untersuchte das Klopfen des Pulses fühlt.

Ein eigenartiges Kriterium für den Verschluß der Arterien haben Hallion et Comte (1899) aufgestellt (s. unten S. 230).

Nach einer Mitteilung von Janowski (1907) ist zur Feststellung des maximalen und minimalen Pulsdrucks von Korotkow, St. Petersburg, (1905) zuerst ein akustisches Phänomen herangezogen worden. Während der ganzen Phase, in welcher der Außendruck die Arterie mehr oder weniger vollständig zusammenpreßt, ist in der Nähe der Druckstelle ein Geräusch zu hören. Das erste Auftreten des Geräusches markiert den minimalen Druck, das Aufhören den maximalen Druck. Diese Methode ist auch von Fellner (1907) empfohlen worden. Sie ist aber erst so kurz in Gebrauch, daß man sich ein Urteil über ihre Leistungsfähigheit noch nicht bilden kann.

g) Sphygmobolometrie Sahlis.

Sahli hat (1907) ein Verfahren ausgebildet, das er Sphygmobolometrie nennt. Der Apparat, den er benutzt, ist derselbe, den Riva-Rocci gebraucht hat. Er besteht aus einer 6 cm breiten Gummimanschette, die um den Oberarm gelegt wird. Um die ganze Energie des Pulsschlags auf das Manometer wirken zu lassen, schließt Sahli die Arterien in der Ellenbeuge durch eine Esmarchsche Binde zu. Der Hohlraum der Manschette ist mit einem Quecksilbermanometer verbunden. Durch ein Gebläse wird der Druck in der Manschette so lange gesteigert, bis das Quecksilber maximale Exkursionen ausführt, oder besser, bis das Produkt h (H + h) (s. unten) sein Maximum erreicht hat. Sahli will mit diesem Instrument die Energie der Pulswelle

messen, während mit allen anderen Instrumenten nur Druckschwankungen gemessen würden. Er polemisiert hauptsächlich gegen die v. Recklinghausensche Absicht, aus der Amplitude des Drucks Schlüsse auf das Sekundenvolumen zu ziehen. Mit dem Instrument sind bereits einige Untersuchungen ausgeführt worden, so von Münzer (1908) und Schultheß (1908).

Mein Urteil über die Sphygmobolometrie ist in kurzen Worten das folgende: Ich sehe dabei ab von der Ungenauigkeit des Ausdruckes $h(H+h)$, der ein Maß für die Arbeitszeit sein sollte, die zur Hebung der Quecksilbersäule von dem Niveau H auf das Niveau $H+h$ geleistet wird, statt dessen $h\left(H+\frac{h}{2}\right)$ gesetzt werden müßte (s. Frank 1910). Man kann ferner davon absehen, daß die Betrachtungen Sahlis über den Einfluß der Trägheit des Instrumentes nicht stichhaltig sind. Christen (1908 und 1909) hat diese Unstimmigkeiten durch weitläufige Rechnungen zu korrigieren versucht, durch die er zu ganz anderen Formeln gelangt ist als Sahli. Es ist ihm nur teilweise gelungen, weil seine Ableitungen den Kern der physikalischen Beziehungen nicht treffen. Um dies zu zeigen, kann man darauf hinweisen, daß die Arbeitsleistung eines Pulsschlages (in Sahlis Sinn gesprochen), die er Seite $150 = A = v_1 \cdot m$ setzt, tatsächlich $= 0$ nämlich $= v_1 \cdot m - v_1 \cdot m$ ist, wenn man von den geringen und unkontrollierbaren Reibungen in dem unten angegebenen System absieht. Nach einer persönlichen Mitteilung hat Herr Sahli inzwischen seine Entwicklungen revidiert. Meine prinzipiellen Bedenken bleiben auch danach bestehen. Ich halte das Instrument für ein unzulängliches Manometer, bei dem das ganze System besteht: aus der Blutsäule in der Brachialis, aus den elastischen Wänden der Arterie, aus dem Binde-, Muskel- und Hautgewebe des Arms, aus den elastischen Teilen der Manschette und der Röhrenverbindung, der Luft in der Manschette und dem Quecksilber in dem Hg Manometer. Man sieht auch wohl, ohne die einfachen rechnerischen Beziehungen zu kennen, die ich unten entwickeln werde, daß ein derartiges Instrument wie alle ähnlichen ungeeignet ist, den Druckablauf aufzuschreiben. Wenn man einmal seine Charakteristik, wie ich sie eben gegeben habe, überblickt hat, wird man die Absicht fallen lassen, es zur Messung der Arbeitsleistung des Herzens oder auch eines bestimmten Teiles dieser Arbeitsleistung zu verwenden.

B. Übersicht über die Prinzipien.

Während das Grundprinzip bei allen Methoden dasselbe ist, nämlich einen Gegendruck von außen auf die Arterie auszuüben, der dem Druck in der Arterie das Gleichgewicht hält und der Druck nur in verschiedener Weise ausgeübt wird, wird bei den einzelnen Methoden ein verschiedenes Kriterium zur Erkennung dieses Zustandes benutzt. Man kann diese Kriterien folgendermaßen einteilen:

A. Subjektive, d. h. von dem Untersuchten festzustellende. Dieses Kriterium wird wesentlich nur bei der Methode von v. Frey benutzt.

B. Objektive, d. h. von dem Beobachter festzustellende.

1. Beobachtung der Unterdrückung bezw. Verkleinerung des Pulses oder der Zirkulation in der Peripherie des zusammengepreßten

15*

Kreislaufabschnittes. Wurde abgesehen von v. Basch von Riva-Rocci und Hill und Barnard angewandt. Ihnen folgen dann die Modifikationen von Gärtner, Janeway, Hensen, Masing, Sahli und Strasburger. Die Unterdrückung der Zirkulation usw. kann durch die Beobachtung des Erbleichens des Gliedes oder mit dem Tastgefühl oder mit dem Sphygmographen festgestellt werden.

2. Beobachtung der Druckverhältnisse in dem Medium, das den Druck überträgt. Die älteste Methode, mit welcher der Druck annähernd genau festzustellen ist, die Mareysche, benutzt dieses Kriterium, und zwar gibt nach Marey das Maximum der Schwingungen des Quecksilbermanometers den Punkt der Gleichheit von Außen- und Innendruck an. Von Hürthle wurde versucht, diese Methode so umzuarbeiten, daß der Druck in dem Außenraum unmittelbar den Blutdruck angeben sollte. Von beiden Autoren wurde zur Übertragung des Drucks eine plethysmographische Vorrichtung benutzt. Nachdem inzwischen Riva-Rocci seine bequeme Manschette erfunden hatte, wandte v. Recklinghausen das Mareysche Kriterium für den Druck in der Manschette an und suchte es zu genaueren Feststellungen des Maximums und Minimums der pulsatorischen Druckschwankung oder der Druckamplitude auszubeuten. Von Janeway u. a. wurde zu demselben Zweck der Beginn der Unterdrückung des peripheren Pulses und die vollständige Unterdrückung als Kriterien für die Bestimmung des maximalen und minimalen Pulsdruckes verwertet.

C. Übersicht über die Apparate.

Die Vorrichtungen, die bei den modernen Methoden jetzt benutzt werden, unterscheiden sich im Prinzip sehr wenig. Sie bestehen aus einer hohlen Gummimanschette, die zirkulär um den Arm (Finger, Gärtner) gelegt wird. Die Binden unterscheiden sich bei den verschiedenen Apparaten hauptsächlich durch ihre Breite. Riva-Rocci hat eine verhältnismäßig schmale angewandt, v. Recklinghausen empfiehlt eine breite. Über die Diskussion, die deswegen entstanden ist, wird unten (S. 231) noch das Nähere zu sagen sein. Die Binde wird durch ein Gebläse, eine Pumpe oder einen Ballon aufgeblasen. Am meisten unterscheiden sich die verschiedenen Apparate durch die manometrische Vorrichtung, besonders diejenigen, die eine Schätzung des maximalen und minimalen Pulsdruckes ermöglichen sollen.

Ich lasse jetzt eine kurze Beschreibung der verschiedenen Apparate mit den neueren Modifikationen folgen.

1. Apparat von Marey 1876. Vorderarm in mit Wasser gefüllter Büchse, Verbindung mit einem Quecksilbermanometer, Beobachtung des Maximums der Druckoszillationen.

2. Marey 1880. Modifikation für den Finger.

3. Mosso 1890. Modifikationen von 1 für vier Finger.

4. Hürthle 1896. Einschluß des Vorderarms wie bei Marey 1. Verbindung der Flüssigkeit in der Büchse mit einem elastischen Manometer. In dem vor dem Einschluß blutleer gemachten Arm wird das Blut eingelassen. Das Manometer soll unmittelbar den Druck und die Druckschwankungen anzeigen.

5. v. Frey 1896. Die Extremität wird in Quecksilber getaucht, bis das Klopfen des Pulses gefühlt wird. Die Tiefe des Eintauchens bestimmt den Blutdruck.

6. Riva-Rocci 1896. Hohle Kautschukmanschette von 4,5 cm Breite; Druckerhöhung durch ein Kautschukgebläse. Beobachtung des Drucks durch ein Hg-Manometer. Kriterium: Unterdrückung des Radialpulses.

7. Hill und Barnard 1897. 5 cm breite Armmanschette, Radfahrpumpe, Metallmanometer. Beobachtung der Oszillationen.

8. Gärtner 1899. Manschette um den Finger. Druckerzeugung durch einen mit Schraube zusammengepreßten Ballon, Verbindung mit Hg-Manometer. Beobachtung der Errötung des vorher blutleer gemachten Fingers beim Nachlassen des Druckes.

8a. Martin 1903. Empfiehlt die Gärtnersche Manschette für den Finger verstellbar für die verschiedenen Fingergrößen und etwas breiter zu machen.

9. Janeway 1901. Zuerst Apparat von Riva-Rocci. Die erste Verkleinerung des Radialpulses, beobachtet an dem Sphygmogramm, zeigt den minimalen Pulsdruck, die Unterdrückung des Pulses den maximalen Pulsdruck an. Später (s. 1904) benutzt Janeway die breite Binde (12 cm) und einen Politzerballon zum Aufblasen der Manschette.

10. Masing 1902. Modifikation des Janewayschen Verfahrens.

11. Sahli 1904. Empfiehlt eine Manschette von 6 cm Breite gegenüber der v. Recklinghausenschen breiten. Benutzt dasselbe Kriterium wie Janeway und hierfür einen modifizierten Jaquetschen Sphygmographen. „Wir bestimmen also, uns auf die Untersuchungen von Potain stützend, mittels des Riva-Roccischen Instrumentes den Maximaldruck durch die Feststellung des Manschettendruckes, unter welchem der Puls an der Peripherie verschwindet, und den Minimaldruck nach eigener Methode, indem wir den Manschettendruck feststellen, durch den die erste deutliche Verkleinerung der Pulswelle hervorgerufen wird“ S. 517. Er konstruiert aus dem Sphygmogramm und den Werten des Maximal- und Minimaldrucks das „absolute Sphygmogramm“.

12. Strasburger 1904. Benutzt als Kriterium für die Feststellung des maximalen und minimalen Drucks das Fühlen des Kleinerwerdens und der Unterdrückung des Radialpulses.

13. v. Recklinghausen 1901 und 1906. Wesentlichste Veränderung des Apparates von Riva-Rocci durch Einführung einer breiten Manschette, 12 cm breit. Über die Begründung dieser Modifikation siehe die unten folgenden kritischen Ausführungen. Aufblasen der Manschette durch eine Radfahrpumpe. Als Manometer verschiedene Konstruktionen verwendet: Im Jahre 1901 Quecksilbermanometer und dynamisch nicht einwandfreies Federmanometer, im Jahre 1906 modifiziertes Ficksches Hohlfedermanometer, über dessen Konstanten einige, aber nicht zureichende Angaben gemacht werden. Die Füllung der Manschette bei dem früheren Apparat 1901 Wasser, bei dem späteren Apparat Luft. Der Rückschluß auf die Größe des Blutdrucks sowohl des maximalen als des minimalen erfolgt vorzugsweise aus der Größe der Ausschläge des Manometers entsprechend einer Erweiterung des Mareyschen Prinzips.



14. Erlanger 1901 und 1904. Messung des maximalen Pulsdrucks durch Feststellung der Unterdrückung des Radialpulses, des minimalen aus dem Maximum der Pulsationen an einem eigenartigen Manometer. Nach einer neueren Arbeit (1908) glaubt Erlanger in einer Veränderung der von dem Manschettenmanometer aufgeschriebenen Druckkurven ein neues Kriterium für die Feststellung des maximalen und minimalen Drucks gefunden zu haben. (Ist mir aus den von Erlanger mitgeteilten Kurven nicht klar ersichtlich.) v. Recklinghausen 1906 S. 399 macht ebenfalls auf eine solche Veränderung der Kurven aufmerksam.

15. Hallion et Comte 1899. Riva-Rocci-Manschette um den Vorderarm mit Manometer und Pumpe. Das Fingervolumen wird plethysmographisch registriert. Es nimmt durch die venöse Stauung so lange zu, bis die Arterien verschlossen werden. Wenn das Volumen konstant bleibt, ist der Arteriendruck erreicht.

16. Martin 1903. Modifiziertes Hg-Manometer, 10 cm-Binde mit verbesserter Klemme, im übrigen Riva-Roccis Verfahren.

17. Cook 1903. Modifikation von Riva-Rocci, ebenso Stanton 1903.

18. Pal 1906, s. auch Horner 1907. Benutzt zum Anzeigen der Druckoszillationen in der Manschette eine ähnliche Vorrichtung wie Hill und Barnard 1898, nämlich eine Flüssigkeitssäule, die in einer Kapillare enthalten, die Änderungen des Luftvolumens anzeigt. Eigenartig ist bei dem Instrument, daß die Luft hinter der Kapillare jedesmal vor der einzelnen Beobachtung, die nach jeder Druckerhöhung erfolgt, unter den Manschettendruck gesetzt wird. Eine ähnliche Vorrichtung hat Bernd (1906) verwandt. Der Moment, in dem die Größe der Oszillationen bedeutend zunimmt, zeigt den Minimaldruck an. Weitere Steigerung der Oszillation bis zu einem Maximum, dann Abnahme, bis bei einer bestimmten Druckhöhe ganz kleine Schwingungen auftreten: Maximaldruck.

19. Oliver 1905. Geschlossenes Luftmanometer wie bei Hill und Barnard 1898. Die Druckanzeige erfolgt durch eine kleine Flüssigkeitssäule in einer Kapillare, wie bei Pal. Das Volumen der Luft in dem Manometer bleibt aber unverändert; s. a. Briggs 1906.

20. Sphygmobolometer von Sahli 1907 (s. oben S. 227).

21. Akustisches Kriterium von Korotkow (S. 226).

Außerdem existieren in der Literatur noch viele Notizen über neu konstruierte Manometer. Es ist mir nicht möglich gewesen, teilweise wegen der schweren Zugänglichkeit der Zeitschriften, die Konstruktionen näher zu verfolgen. Ich glaube auch nicht, daß mit der Beschreibung aller einzelnen Konstruktionen etwas Wesentliches gewonnen wäre. Die Hauptsache dürfte, wie ich unten auseinandersetzen werde, jetzt eine strenge Experimentalkritik sein. Ich gebe hier kurz die literarischen Hinweise: Amblard 1908, Bergonié 1907, Bing 1907, Bingel 1906 (eigentümliche Vorrichtung für die Registrierung der Druckhöhen), Brüg 1907, Bouloumié 1908, Clark 1905, Fleischer 1907, 1908, Franz 1907, Funkenstein 1908, Haak 1906, Jaquet 1908, Koziczkowsky 1907, Lagrange 1908, Lewy 1906, Lewis 1906, Münzer 1905, Pariset 1906, Philadelphien 1896, Porges 1907, Rheinboldt 1907, Schenck 1903, Stillmark 1907, Tauber 1907, Uskoff 1908, Vaquez 1908, van Westenrijk 1908.

D. Bisherige experimentelle und theoretische Kritik der Methoden.

Eine ganze Reihe von Untersuchungen hat sich zur Aufgabe gestellt, die Leistungen der verschiedenen Verfahren, deren Prinzipien ich oben angegeben habe, zu bestimmen und gegenseitig abzuwägen. Die Untersuchungen sind nicht zu einem einheitlichen Resultat gekommen, und dies ist auch nicht möglich, da bis jetzt eine klare Theorie der Instrumente noch nicht existiert. Eine Experimentaluntersuchung kann hier so lange nicht eine vollständige Aufklärung bringen, als nicht eine Übersicht über die physikalischen Beziehungen der Instrumente existiert, oder solange man nicht die Konstanten kennt, die für die Leistungen maßgebend sind. Mit vereinzelten Experimenten kann eben nur festgestellt werden, ob in einzelnen Fällen das Instrument das leistet, was es verspricht. Ich beschränke mich daher im folgenden auf eine kurze Anführung der wesentlichsten Momente, die in den bisherigen Diskussionen zu Tage getreten sind.

Einer der wichtigsten Punkte in der Handhabung der Methoden ist die Bildung der Armmanschette und die Art ihres Anlegens. v. Recklinghausen ist dafür eingetreten, daß die Binde breiter als die ursprüngliche Riva-Roccische, nämlich 12 cm breit, gehalten würde. Den Einfluß der Weichteile des Arms schätzt er sehr gering, während er von anderen nicht unbeträchtlich erachtet wird. Er meint, daß bei einer schmalen Binde von der Belastung der Arterie relativ zu viel von den an die Randpartien der Manschette angrenzenden Teilen der Arterie getragen würde, und illustriert seine Meinung durch eine sehr sinnfällige, aber die wahren physikalischen Verhältnisse nicht charakterisierende, Zeichnung. Gegen sein Schema ist einzuwenden, daß nicht Gewichte auf die Arterie aufgelegt werden, sondern die Arterie durch einen Ballon zusammengedrückt wird, der mit Flüssigkeit gefüllt ist. Es lassen sich unschwer die Spannungen an den Randpartien der Manschettenwand so verteilen, daß der Einfluß einer breiten Manschette in dem v. Recklinghausenschen Sinn nicht auftritt. Die Behandlungsweise, die v. Recklinghausen dem Problem hat angedeihen lassen, ist also unzulänglich. Daß bei der Anwendung einer schmäleren Binde kleinere Drücke gemessen werden, ist an sich kein Beweis für die Richtigkeit der v. Recklinghausenschen Deduktion. Die Leistungen der oszillatorischen Methode lassen sich vorläufig gar nicht übersehen, und wenn mit der Unterdrückungsmethode niedrigere Drücke bei der Anwendung der breiteren Binde gefunden werden, so ließe sich das darauf zurückführen, daß durch die breitere Binde ein längeres Stück der Arterie verengert wird und so die Pulswelle in der Radialis früher ausgelöscht wird. In der verdienstvollen Arbeit von Müller und Blauel (1907) ist zwar gezeigt worden, daß in den untersuchten Fällen bei narkotisierten Menschen nach direkten Messungen des Blutdrucks in der Brachialis mit dem Hg-Manometer und dem Hürthleschen Manometer, bei Anwendung der schmalen Riva-Roccischen Binde der Druck um 26—36 mm, der breiten Recklinghausenschen Binde nur um 6 mm zu hoch gefunden wird. (Nach Schäfers Textbook II S. 80 hat Faivre schon den Blutdruck in amputierten Stümpfen gemessen.) Aber dies braucht nur für eine kleinere Anzahl von Fällen zuzutreffen und selbst, wenn es für die Mehrzahl richtig wäre, so ist damit nicht gesagt, daß eine

schmälere Binde wegen anderer Vorteile und einer etwaigen genaueren Bestimmung der Fehler nicht den Vorzug verdiene. Die Frage ist also noch nicht entschieden. Gegen die breite Binde haben sich vor allem Sahli 1904, Fellner und Rudinger 1906 entschieden.

Das Kriterium, das von v. Recklinghausen bevorzugt wird, besteht in der Beobachtung der Druckoszillationen in der Manschette. Mit dem Moment des plötzlich Größerwerdens der Druckschwankungen soll der Minimaldruck erreicht sein und mit dem Moment des wieder Kleinerwerdens soll der maximale Druck bestimmt werden. Abgesehen davon, daß das Prinzip dieser Bestimmnng durchaus unklar ist (s. unten), habe ich nur vereinzelte Kurven in der Literatur auffinden können, auch unter den von v. Recklinghausen selbst gegebenen, in denen diese Momente klar hervortreten. In fast allen Kurven findet ein allmählicher Übergang statt. Ganz anders liegt es mit der Feststellung des Maximums der Oszillationen, das Marey als Kriterium für die Bestimmung des angenäherten mittleren Drucks benutzt hat. Es läßt sich wohl immer ziemlich scharf feststellen. Vorläufig kann man aber nicht bestimmt sagen, ob es das Maximum oder das Minimum oder den mittleren Druck anzeigt, wie dies auch in den verschiedenen Kritiken hervorgehoben worden ist.

Viel bestimmter läßt sich nach den Erfahrungen, die ich habe, und nach der Kontrolle der in der Literatur veröffentlichten Kurven der Punkt der Verkleinerung und der Unterdrückung des Radialpulses bestimmen. Ich möchte daher vorläufig diese Methode, die Janeway zuerst ausgedacht, aber dann verworfen hat, zur Bestimmung der Pulsamplitude empfehlen. Die Methode ist in verschiedener Form von Masing, Sahli und Strasburger angewandt worden. Es ist selbstverständlich noch notwendig, sie theoretisch und experimentell kritisch zu prüfen und die Bedenken zu berücksichtigen, die gegen sie eingewendet wurden (s. u. a. Hoorweg 1890 S. 163, v. Recklinghausen 1901 S. 102). Aber jedenfalls hat sie das für sich, daß die Zeichen bestimmt sind. Wenn man, wie Fellner und Rudinger (1905/6), den Blutdruckmessungen am Menschen nur relative Bedeutung beimißt, so wird man mit dieser Methode wertvolle Beobachtungen anstellen können.

Von den Momenten, die bei der experimentellen Prüfung der Methoden zu Tage getreten sind, erscheinen mir weiter die folgenden beachtenswert:

Nach Gumprecht (1900, Versuche an der Leiche mit künstlicher Gummiarterie) ist der Druck außerhalb und innerhalb der Manschette gleich. Die Gummispannung kommt nicht in Betracht. Der Einfluß der Gewebe wird verschieden eingeschätzt. Gumprecht beziffert den Verlust zu 30—50 mm je nach der Druckhöhe, Hensen (1900) zu 15 mm bei Erwachsenen und 3 mm bei Kindern. Der Einfluß einer Muskelkontraktion kann beträchtlich sein und nach Hensen (S. 437) zu einem Fehler von 80 mm Druck führen. Ein Ödem kann bis zu 20 mm Fehlbestimmung führen. Die Elastizität der Gefäßwand ist nur bei den sklerotischen Arterien von einiger Bedeutung, nämlich etwa 5 mm Quecksilber. v. Recklinghausen (1901 S. 104) nimmt an, daß es sich hierbei nicht um einen größeren Deformationswiderstand handelt, sondern er glaubt vielmehr, daß bei dem Zusammenklappen der sklerotischen Arterien an den Seiten Rinnen frei bleiben, so daß die Zirku-

lation nicht vollständig unterbrochen wird. Die Manschette muß selbstverständlich gut passen, sie darf vor allen Dingen nicht zu lose sein; besonders empfindlich hierin ist das Gärtnersche Tonometer. Deshalb hat Martin eine Modifikation des Rings für notwendig erachtet (s. oben S. 229 Nr. 8a). Daß der Druck auf die Herzhöhe korrigiert werden muß, ist selbstverständlich. Am besten stellt man die Apparate so auf, daß eine Korrektur nicht notwendig ist. (Eine Zusammenstellung dieser eben erwähnten Fehler findet sich bei Janeway 1904 S. 55—61.)

Ehe ich eine Theorie der Methoden skizziere, gebe ich noch kurz die Abhandlungen an, in denen eine experimentelle und theoretische Würdigung der Leistungen der verschiedenen Methoden versucht wird. Es sind die Arbeiten von Mosso 1895 (benutzt ein Modell), Bing 1906, Brunton 1908, Busquet 1905, Erlanger 1904, Fellner und Rudinger 1905—1907 (Angaben der Riva-Roccimethode nach Tierversuchen richtig), Gärtner 1900, Guillain et Vaschide 1900, Gumprecht 1900, Hayaski 1901, Hensen 1900, Hofmann 1907, Howel and Brush 1901, Klemperer 1907, Lang und Manswetowa 1908, Martin 1905, Müller 1908, Mummery 1905 (Übereinstimmung der Angaben des Riva-Rocci mit einem Quecksilbermanometer, das in die andere Femoralis eines Hundes eingebunden ist), Neu 1902, Oliver 1895, 1901 und 1905, Parisot 1907, Salaghi 1905, Sasaparel 1902, Schilling 1906, Schleisiek 1901, Schuele 1900, Strasburger 1907, Vaschide und Lahy 1907, Wolf 1902.

E. Skizzierung einer Theorie der Blutdruckmessung beim Menschen.

Wie ich in den vorhergehenden Abschnitten hervorgehoben habe, sind die bisherigen Versuche, die Leistungen der zur Blutdruckmessung beim Menschen bestimmten Methoden kritisch zu würdigen, unzulänglich. Es ist auch selbstverständlich nicht möglich, jetzt eine vollständig befriedigende Kritik zu geben. Dazu gehört die Verbindung von Theorie und Experiment. Aber es lassen sich die Leistungen der Instrumente doch viel sicherer theoretisch übersehen, als dies bisher geschehen ist. Man braucht hierzu nur auf die in dem ersten Teil ausgeführte Theorie der Manometer zurückzugreifen. Zum Schluß stellt der Apparat, sei es eine plethysmographenähnliche Vorrichtung oder eine Manschette, ja nichts weiter als eine manometrische Vorrichtung dar. Die Leistungen eines Manometers sind zu bemessen nach der Empfindlichkeit und nach der Dauer der Eigenschwingungen. Für die Empfindlichkeit kann man eine Formel angeben, welche die Verhältnisse in großen Zügen klar übersehen läßt. Es handelt sich dabei um die Ausschläge des Manometers, das mit dem Hohlraum der Manschette verbunden ist. Dieses Manometer stellt aber nur einen Teil des ganzen Systems dar. Es besteht nach den früheren Entwicklungen von dem Moment ab, in dem die Zirkulation in dem untersuchten Glied aufgehört hat, aus der Blutsäule in den stark verengerten Arterien, aus den Wänden der Arterie, den die Arterie umgebenden Weichteilen, den Wänden der Manschette, ihrem Inhalt, der Röhrenverbindung zu dem Manometer und dem Manometer selbst. Der Inhalt der Manschette kann Wasser oder Luft sein. Bezeichnet man mit E'_w den Volum-Elastizitätskoeffizienten $\frac{\Delta p}{\Delta V}$ der Arterienwand und der an-

liegenden Weichteile, mit E'_B den Elastizitätskoeffizienten für die Manschette (Binde), den Inhalt der Manschette und die Elastizität der Weichteile, die bei der Erhöhung des Drucks in der Manschette verdrängt werden und weiter mit E'_M den Elastizitätskoeffizienten des Manometers, so ist nach der Formel 35 der „Dynamik der Membranmanometer usw." die Empfindlichkeit gleich

$$\gamma_r = \frac{1}{\frac{E'_M E'_W}{E'_B} + E'_M + E'_W}.$$

Diese einfache Formel enthält sehr wichtige Beziehungen. Ich betrachte zunächst den Einfluß des Koeffizienten der arteriellen Wand (unter Außerachtlassung des Einflusses der Weichteile). Seine Größe ist maßgebend für die Empfindlichkeit, d. h. für den Ausschlag des Manometers, gleichgültig, ob es ein Hg- oder ein elastisches Manometer ist. Marey hat zuerst gefunden, daß die Ausschläge des Manometers größer werden mit wachsendem Druck in dem Außenraum bezw. der Manschette, um bis zu einem gewissen Maximum zu wachsen. Er hat angenommen, daß in diesem Fall Gleichheit von Außen- und Innendruck herrscht und hat als Grund für den maximalen Ausschlag angegeben, daß er dem freien Flottieren der Arterienwand zuzuschreiben ist (s. oben S. 221). Damit ist aber keine Erklärung gegeben, denn es handelt sich nicht um die Spannung der Arterienwand als maßgebendes Moment, sondern um den Elastizitätskoeffizienten. Daß der Elastizitätskoeffizient der Arterienwand in dem Moment, in dem ihre Spannung 0 wird, sich wesentlich ändert, ist sicher, aber bis jetzt noch nicht klar beschrieben. Er wird dann nämlich negativ, wenn er vorher als positiv bezeichnet wurde; die Arterie verändert ihre Form, sie bleibt nicht kreisförmig, sondern wird elliptisch. Es ist in diesem Moment in der Spannung der Wand ein labiles Gleichgewicht vorhanden, ebenso wie bei einem kugelförmigen Kessel, der bei einem äußeren Überdruck, der über diesen Punkt hinausgeht, zertrümmert wird (s. Föppel, Mechanik Teil 3). Jedenfalls sinkt der Elastizitätskoeffizient rasch, geht durch die Null hindurch und wird bei dem weiteren Zusammenfallen wieder positiv. Diese Verhältnisse würden allerdings nach unserer Formel zu einer Steigerung der Exkursion führen. Aber die Empfindlichkeit ist nicht allein von diesem Elastizitätskoeffizienten abhängig, sondern ganz wesentlich auch von dem Elastizitätskoeffizienten E'_B, den ich als denjenigen der Manschette oder den Außenraum bezeichnete. Wenn er mit wachsendem Druck in dem Außenraum zunimmt, so nimmt ebenfalls, wie in dem vorhergehenden Fall die Empfindlichkeit zu. Wir haben Anhaltspunkte dafür, daß er mit wachsendem Außendruck tatsächlich steigt. Dies gilt schon für den Elastizitätskoeffizienten des Inhalts der Binde, wenn er aus Luft besteht. Er ist nämlich gleich p_m (s. Kritik der Manometer S. 539) und wahrscheinlich gilt das für den Anteil des Koeffizienten des Außenraums, der den Einfluß der Haut usw. bestimmt. Daß diesem Anteil eine wichtige Rolle zuzuschreiben ist, habe ich aus den Versuchen von Marey (Méthode graphique) und Hürthle (1896) ersehen. Marey wie Hürthle machen darauf aufmerksam, daß der Vorderarm mit wachsendem Druck aus der Büchse des Plethysmographen herausgedrängt

wird. Sie haben das Herausdrängen durch eine Schiene zu verhindern gesucht, die den Ellbogen festhalten soll. Aber dies gelingt natürlich nicht vollständig. Das Herausdrängen des Arms bezw. genauer der Weichteile erfolgt allmählich und diese Erscheinung wirkt wie ein elastischer Faktor. Der Koeffizient kann niemals gleich ∞ werden, deshalb kann man nicht den Blutdruck direkt in der Weise messen, wie das Hürthle versucht hat (s. oben S. 222 ff.). Es ist nun wahrscheinlich, daß der Koeffizient mit wachsendem Außendruck wächst und die Empfindlichkeit zunimmt. Das ist ein Moment für das Anwachsen der Ausschläge des Manometers, auf das bis jetzt nicht aufmerksam gemacht worden ist. Es ist selbstverständlich, daß man sich über die Größe seines Einflusses erst klar werden muß, ehe man Schlüsse aus der Größe der Ausschläge ziehen kann. Es ist auch danach sehr begreiflich, daß die Art des Anwachsens der Ausschläge so verschiedenartig ausfällt, da es von so verschiedenen Bedingungen abhängig ist, deren Schätzung bis jetzt noch nicht unternommen worden ist.

Von den weiteren einfachen Folgerungen, die sich aus der Formel ergeben, will ich nur die eine hier anführen, nämlich die, daß die Empfindlichkeit des gesamten Systems gleich derjenigen des eigentlichen Manometers wird, wenn E'_w gleich 0 wird. Bei der letzten Bedingung werden die Verhältnisse durch die besonderen Eigenschaften des Koeffizienten in der Nähe der Entspannung der Arterien verwickelt.

Die Behandlung der dynamischen Verhältnisse des Systems läßt sich auf Grund der Entwicklung der „Kritik“ (S. 547 ff.) in allgemeinen Umrissen durchführen. Ist die Manschette mit Luft gefüllt und ist die Arterienwand fast entspannt, so stellt das System einen Lufttonographen von sehr ungünstiger Konstruktion dar. Man berücksichtige, daß die wirksame Masse M der Flüssigkeitssäule in der verengerten Arterie wahrscheinlich sehr bedeutend ist. Ferner die Größe des Luftraums in der Manschette. Das sind alles Momente, welche die Leistungen des Systems sehr herabsetzen. Auf diese geringen Leistungen war ich aufmerksam geworden durch die Betrachtung der v. Recklinghausenschen Treppenkurven. Nach v. Recklinghausen sollen diese Kurven ausgezeichnete Sphygmogramme darstellen. Schon die einfache Betrachtung der Kurven zeigt, daß dies nicht der Fall sein kann. Die Sphygmogramme der Brachialis müssen noch die wesentlichen Züge des zentralen Pulses zeigen. Das ist nun durchaus nicht der Fall. Es sind direkte Schleuderkurven. Prinzipiell wird an dieser Diskussion auch nichts geändert, wenn es sich um die Betrachtung eines Systems handelt, bei dem die Manschette mit Wasser gefüllt ist. (Ich bemerke noch, daß wahrscheinlich die Kompressibilität des Wassers, besonders in den großen Plethysmographenbüchsen, schon eine Rolle spielt.)

Es ist hier nicht meine Aufgabe, die Frage zu erörtern, welchen Wert die Blutdruckbestimmungen und speziell die Bestimmungen des maximalen und minimalen Blutdrucks oder der Amplitude des Pulsdrucks für den Kliniker haben. Aber ich möchte doch erklären, daß nach meiner Meinung die Folgerungen zu weitgehend sind, die v. Recklinghausen (1906) u. a. aus den Beobachtungen der Amplitude und insbesondere aus den von mir entwickelten Formeln (1899) gezogen haben.

Amblard, L. A. 1908. Note sur le sphygmométroscope. Bull. Gén. Thérap. T. 155. p. 781—786.
v. Basch 1876. Siehe Janeway 1904, S. 46.
v. Basch 1880. Ztschr. f. klin. Medic. 2, S. 79.
v. Basch 1883. Wiener med. Wochenschr. S. 673. — Zeitschr. f. klin. Med. Bd. II, S. 79.
v. Basch 1887. Der Sphygmomanometer und seine Verwertung in der Praxis. Sep. Abdr. Berlin, Hirschwald.
Bergonié, J. 1907. Sphygmomanomètre clinique pour l'humérale. (Réunion biol. Bordeaux). C. R. Soc. Biol. Paris T. 63 p. 708—710.
v. Bernd, E. 1906. Die Verwendung einer „entlasteten Membran" zur Sphygmographie und Tonographie. Wien. klin. Wochenschr. Jahrg. 19, p. 39—41.
Binet et Vaschide 1897. Influence des différents processus psychiques sur la pression du sang chez l'homme. C. R. de l'acad. d. science. CXXIV, p. 44—46.
Bing, H. J. 1906. Über die Blutdruckmessung bei Menschen. Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 43, p. 1650—1654.
Bing H. J. 1907. Ein Apparat zur Messung des Blutdrucks beim Menschen. Berl. klin. Wochenschr. Jahrg. 44, p. 690—692.
Bingel, Adolf 1906. Über die Messung des diastolischen Blutdruckes beim Menschen. (Mit Demonstration eines neuen Sphygmomanometers.) München. med. Wochenschr. Jahrg. 53, p. 1246—1248.
Bloch 1888. Comptes rend. de la soc. de biol. S. 84. 1889 ebenda S. 456.
Bloch 1896. Note sur un perfectionnement apporté à mon sphygmomètre. C. R. d. l. soc. d. biol. 745.
Bouloumié, M. 1908. La tension artérielle et sa mesure. Bull. gén. Thérap. T. 155 p. 790—792.
Briggs 1906. The new Oliver Sphygmomanometer (John Hopkins med. Soc.) Bull. Johns Hopkins Hosp. Vol. 17, Diskuss. p. 156—157.
Brüg 1907. Ein Apparat zur Messung des Blutdrucks beim Menschen. Berlin. klin. Wochenschr. No. 22.
Brunton Lauder 1908. An adress on blood pressure in man, its measurement and regulation. Lancet Vol. 175, p. 1126—1133.
Busquet, H. 1905. Etude du phénomène observé avec le sphygmomètre unguéal de M. A. M. Bloch. C. R. Soc. Biol. Paris T. 58, p. 1060—1061.
Christen 1908. Über exakte Bestimmung der Pulsqualitäten. (Med.-pharm. Bez.-Ver. Bern.) Korr.-Bl. Schweiz. Ärzte Jahrg. 38, p. 667—668.
Christen 1909. Die Pulsdiagnostik auf mathematisch-physikalischer Grundlage. Z. f. exper. Path. u. Therapie. VI S. 125.
Clark, Gaylord P. 1905. A method of measuring and recording the maximum as well as the minimum blood-pressure in man. Amer. Journ. Physiol. Vol. 13. p. XXVII—XXVIII.
Colombo 1899, Recherches sur la pression du sang chez. l'homme. (Physiol. Labor. Turin.) Arch. ital. d. biologie p. 345—369.
Cook and Briggs 1903. Clinical observations on blood-pressure. Johns Hopkins Hosp. Rep. vol. XI S. 451.
Edgecombe and Bain 1899. An abstract of observations on the effect of baths. massage, and exercise on the blood-pressure. Journ. of. physiol. XXIV, p. 48—50.
Erlanger 1901. A new instrument for determining systolic and diastolic blood-pressure in man. Amer. journ. of. physiol. VI p. XXII—XXIII.
Erlanger 1904. A new instrument for determining the minimal and maximal blood-pressures in man. Johns Hopkins Hosp. Rep. 12 p. 53—110.
Erlanger 1904. A study of the errors involved in the determination of the blood-pressures in man together with a demonstration of the improvements in the sphygmomanometer thereby suggested. Amer. journ. of physiol. 10. XIV-XV.
Erlanger 1908. A new criterion for the determination of the systolic blood pressure with the sphygmomanometer (with demonstration). (Proc. Amer. Physiol. Soc.) Amer. Journ. Physiol. Vol. 21, p. XXIV-XXV.

Faivre in Volkmanns Hämodynamik s. Schäfer. S. 80.
Fellner, Bruno und Carl Rudinger. 1905. Tierexperimentelle Studien mittels des Riva-Roccischen Sphygmomanometers. Zeitschr. klin. Med. Bd. 57, p. 125.
Fellner, Bruno, jr. 1906. Neue Methoden zur klinischen Blutdruckmessung und ihre Ergebnisse. Wien. med. Wochenschr. Jahrg. 56, p. 414-417.
Fellner, Bruno, jr. 1906. Klinische Beobachtungen über den Wert der Bestimmung der wahren Pulsgröße (Pulsdruckmessung) bei Herz- und Nierenkranken. Deutsch. Arch. klin. Med. Bd. 88, p. 1.
Fellner, Bruno und Carl Rudinger 1906. Über Blutdruckmessungen. München. med. Wochenschr. Jahrg. 53, p. 1466.
Fellner, Bruno, jr. 1907. Neuerung zur Messung des systolischen und diastolischen Druckes. (24. Kongr. inn. Med. Wiesbaden). München. med. Wochenschr. Jahrg. 54, p. 1052. — Wien. klin. Wochenschr. Jahrg. 20, p. 902. — Zeitschr. physik. diätet. Therap. Bd. 11, p. 297 — Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 44, p. 791.
Fleischer, Fritz 1907. Über turgo-tonographische Pulsdruckbestimmung. Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 44, p. 1108—1113.
Fleischer F. 1908. Über Turgosphygmographie und Fingerplethysmographie. Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 45, p. 1971—1973.
François-Franck 1908. Comparaison graphique sommaire des procédés de sphygmomanométrie artérielle directe et globale; critique du paradoxe radial dans la contrepression brachiale. C. R. Soc. Biol. Paris T. 65, p. 87—90.
François-Franck 1908. Application des procédés pléthysmographiques à l'examen des résultats fournis par le sphygmomanométre de Potain. C. R. Soc. Biol. Paris T. 65, p. 16—18.
Frank 1899. Die Grundform des arteriellen Pulses I. (Physiol. Institut München). Z. f. Biol. XXXVII. S. 483—526.
Frank 1910. Die Arbeit für die Bewegung eines Manometers. Ztschr. f. Biol. 54, S. 555.
Franz Shepherd Ivory 1907. Pulse-pressure estimation. Boston med. surg. Journ. Vol. 156, p. 777—778.
Frey M. v. 1896. Eine einfache Methode den Blutdruck am Menschen zu messen. Sep. Abdr. a. Chirurg. Beiträge. Festschrift f. B. Schmidt-Leipzig 79—84.
Funkenstein 1908. Apparat zur Blutdruckmessung. (Ärztl. Ver. München). München. med. Wochenschr. Jahrg. 55, p. 593.
Gärtner 1899. Über einen neuen Blutdruckmesser (Tonometer). Wiener med. Wochenschr. No. 30.
Gärtner 1900. Über das Tonometer. 2. Mitteilung. München med. Wochenschr. No. 35.
Gärtner 1903. München med. Wochenschr. No. 47.
Guillain et Vaschide 1900. Du choix d'un sphygmomètre des causes d'erreur dans la mesure de la pression sanguine. C. R. d. l. Soc. biol 71—73.
Gumbrecht 1900. Experimentelle und klinische Prüfung des Riva-Roccischen Sphygmomanometers. Zeitschr. f. klin. Med. XXXIX, p. 377—396.
Haak 1906. Neues Blutdruck-Manometer. Zeitschr. Krankenpfl. Jahrg, 28, Ärztl. polytechn. p. 99—100.
Hallion et Comte 1899. Sur un procédé d'évaluation de la pression arterielle chez l'homme. Intermédiaire des biol. et des méd. S. 302—304.
Hayashi 1901. Vergleichende Blutdruckmessungen an Gesunden und Kranken mit den Apparaten von Gärtner, Riva-Rocci und Frey. Inaug-Dissertation. Erlangen.
Hensen 1900. Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Blutdrucks. Deutsch. Arch. klin. Med. LXVII, p. 436—528.
Hill and Barnard 1897. A simple and compact form of sphygmomètre or arterial pressure gauge devised for clinical use. British med. Journal II, S. 904.
Hill and Barnard 1898. A simple pocket sphygmometer for estimating arterial pressure in man. (Physiol. Soc.) Journ. of Physiol. XXIII, p. IV—V.
Hirsch 1901. Vergleichende Blutdruckmessungen mit dem Sphygmomanometer von Basch und dem Tonometer von Gärtner. Deutsch. Arch. f. klin. Med. LXX. p. 219—235.

Hofmann 1907. Über einige neue Modifikationen der unblutigen Blutdruckmessung nach Riva-Rocci beim Menschen. (24. Kongr. inn. Med. Wiesbaden). Zentralbl. inn. Med. Jahrg. 28, p. 533. — Zeitschr. physik. diätet. Therap. Bd. 11, p. 247.

Hoorweg 1889. Über die Blutbewegung in den menschlichen Arterien. Arch. f. d. ges. Physiol. XLVI, S. 115—189.

Horner A. 1907. Über Blutdruckuntersuchung mit dem Sphygmoskop nach Pal. Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 33. p. 753—756.

Howell a. Brush 1901. A critical note upon clinical methode of measuring blood-pressure. Boston med. and surg. journ. 1901 vol. 45. p. 146.

Hürthle K. 1896. Über eine Methode zur Registrierung des arteriellen Blutdrucks beim Menschen. Deutsch. med. Wochenschr. No. 36.

Janeway 1901. Some observations on the estimation of blood-pressure in man. N. Y. Bull. of med. sciences 1901, Vol. 1.

Janeway 1904. The clinical study of blood-pressure. New York and London.

Janowski 1907. Diskussion auf dem XXIV. Kongreß für innere Medizin. München med. Wochenschr. 54, p. 1052.

Jaquet A. 1908. Zur graphischen Registrierung des Blutdrucks beim Menschen. München. med. Wochenschr. Jahrg. 55, p. 445—446.

Kiesow 1895. Expériences avec le sphygmomanomètre de Mosso sur les changements de la pression du sang, chez l'homme, produits par les excitations psychiques. Arch. ital. d. biologie XXIII, 198—211.

Kiesow 1895. Versuche mit Mossos Sphygmomanometer über die durch psychische Erregungen hervorgerufenen Veränderungen des Blutdrucks beim Menschen. Wundts philos. Studien XI, p. 41—60.

Klemperer, F. 1907. Über Methodik und Bedeutung der Pulsdruckmessung. (Berlin. med. Ges.) Med. klin. Jahrg. 3, p. 501—502. — Zentralbl. inn. Med. Jahrg. 28, p. 410—411.

Koziczkowsky, E. 1907. Über „Turgo-Sphygmographie“ und ihre Verwendung für Pulsdruckbestimmungen. Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 44, p. 369—372.

Lagrange, André 1908. Note sur le pulsocardioscope. Bull. Gén. Thérap. T. 155, p. 786—789.

Lang, Georg und Sophie Manswetowa 1908. Zur Methodik der Pulsdruckmessung nach v. Recklinghausen und Korotkoff. Deutsch. Arch. klin. Med. Bd. 94, p. 441—454.

Levy, Fritz 1906. Über Kraftmessung des Herzens. Zeitschr. klin. Med. Bd. 60, p. 74—86.

Lewis, Thomas 1906. Note on the estimation of blood-pressure. Brit. med. Journ. 1906. Vol. 2, p. 1091.

Marey 1876. Pression et vitesse du sang. Trav. du labor 1876, T. II.

Marey 1878. Moyen de mesurer la valeur manométrique de la pression du sang chez l'homme. Compt. rend. LXXXVII, S. 771.

Marey 1880. Nouvelles recherches sur la mesure manométrique de la pression du sang chez l'homme. Trav. du labor. 1880 T. IV. S. 253.

Marey 1885. La méthode graphique Paris. II. Auflage.

Martin 1903. Technisches über das Riva-Roccische Sphygmomanometer und Gärtners Tonometer. Münchn. med. Wochenschr. Bd. 50, S. 1021 u. 1072.

Martin 1905. Über Blutdruck und Blutdruckmessung. Korr. Bl. Schweiz. Ärzte Jahrg. 35, p. 97—106.

Masing 1902. Über das Verhalten des Blutdrucks des jungen und des bejahrten Menschen bei Muskelarbeit. (Med. Klinik Dorpat). Deutsch. Archiv f. klin. Med. 74. p. 253—295.

Mosso 1890. Verhandlg. d. X. internat. med. Kongresses. Physiol. u. physiol. Chemie S. 53.

Mosso 1895. Sphygmomanomètre pour mesurer la pression du sang chez l'homme. (Physiol. Labor. Turin). Arch. ital. d. biologie XXIII, p. 177—197.



Müller. Otfried und Karl Blauel 1907. Zur Kritik des Riva-Roccischen und Gärtnerschen Sphygmomanometers. Untersuchungen bei Amputationen. Deutsch. Arch. klin. Med. Bd. 91, p. 517—553.

Müller, Otfried 1908. Die unblutige Blutdruckmessung und ihre Bedeutung für die praktische Medizin. Med. klin. Jahrg. 4, p. 47—51, 83—90, 120—125.

Mummery, Lockhart 1905. A comparison of blood pressure readings obtained simultaneously with a manometer and with a sphygmomanometer. Journ. Physiol. Vol. 32, p. 23—24.

Münzer Egmont 1907. Apparat zu objektiver Blutdruckmessung; gleichzeitig auch ein Beitrag zur Sphygmo-Turgographie. München. med. Wochenschr. Jahrg. 54, p. 1809—1813.

Münzer 1907. Über den Blutdruck bei Arteriosklerose. (Wiss. Ges. deutsch. Ärzte Böhmen). Wien. klin. Wochenschr. Jahrg. 20, p. 1491. — Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 33, p. 2200.

Münzer 1907. Objektive Blutdruckmessung. (Wiss. Ges. Deutsch. Ärzte Böhmen). Deutsch. med. Wochenschr. 33, p. 1357.

Münzer 1908. Zur graphischen Blutdruckbestimmung und Sphygmobolometrie nebst Beiträgen zur klinischen Bewertung dieser Untersuchungsmethoden. Med. Klin. Jahrg. 4, p. 527—532, 572—576.

Neu 1902. Experimentelle und klinische Blutdruckuntersuchungen. Heidelberg, Dissertation.

Oliver 1895. Pulse gauging, London.

Oliver 1898. A simple pulse pressure gauge. (Physiol. Soc.) Journ. of Physiol. XXII, p. LI—LII.

Oliver 1901. A contribution to the study of the blood and blood pressure. Lewis, London p. 104—272.

Oliver 1905. A lecture on haemomanometry in man. Lancet. Vol. 169, p. 201—206.

Oliver 1905. A new form of haemomanometer. Journ. Physiol. London Vol. 32, p. LXIX—LXXI.

Pal 1906. Ein Sphygmoskop zur Bestimmung des Pulsdruckes. Zentralbl. inn. Med. Jahrg. 27, p. 121—129.

Pariset 1906. Méthode de mesure de la pression artérielle avec l'emploi, comme témoin, du sphygmographe de Dudgeon modifié. Bull. gén. Thérap. T. 151, p. 294—298.

Pariset 1906. Note sur une méthode de sphygmomanométrie clinique avec l'emploi, comme témoin, du sphygmographe de Dudgeon modifié. C. R. Soc. Biol. T. 60, p. 284—285.

Parisot 1907. A propos de la technique de sphygmomanométrie chez l'animal. C. R. Soc. Biol. 1, p. 759.

Petter 1906. Siehe Kap. 13.

Petter 1908. Siehe Kap. 13.

Philadelphien 1896. Le sphygmométrographe construit par Ch. Verdin. Compt. rend. d. la soc. d. biol. S. 199.

Porges, O. 1907. Eine neue Methode zur Bestimmung des diastolischen Blutdruckes und des Pulsdruckes. (Ges. inn. Med. Kinderhk. Wien). Wien. med. Wochenschr. Jahrg. 57, p. 1342. — Zentralbl. inn. Med. Jahrg. 28, p. 794.

Potain 1889. Archives de physiol. S. 556.

Potain 1890. Archives de physiol. S. 300, 681.

Potain 1902. La pression artérielle de l'homme à l'état normal et pathologique. Paris, Masson u. Co.

v. Recklinghausen 1901. Über Blutdruckmessung beim Menschen. (Pharmakol. Laboratorium Straßburg). Arch. f. exper. Pathol. XLVI, p. 78—132.

v. Recklinghausen 1906. Unblutige Blutdruckmessung. 1) Messung des Blutdrucks in den großen Arterien des Menschen, theoretischer Teil. 2) dergl. praktischer

Teil. 3) Messung des Blutdrucks in den kleinen Arterien, Venen und Kapillaren des Menschen und beim Tier. (Arb. Lab. exper. Pharmakol. Straßburg No. 191—193). Arch. exper. Pathol. Bd. 55, p. 375—504.

v. Recklinghausen 1906. Was wir durch die Pulsdruckkurve und durch die Pulsdruckamplitude über den großen Kreislauf erfahren. Arch. exper. Path. Bd. 56, p. 1—53.

Rheinboldt 1907. Über ein Sphygmoskop. Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 44. p. 161—163.

Riva-Rocci 1896. Un nuovo sfigmomanometro. Gaz. med. Torino No. 50, 51.

Rosen 1891. Über die Verwendbarkeit des v. Baschschen Sphygmomanometers zu Blutdruckmessungen an Tieren. Inaug. Dissert., Dorpat.

Roy und Adami 1890. Heart beat and pulsewave. Practitioner, London.

Sahli 1904. Studie über das absolute Sphygmogramm. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 81.

Sahli 1907. Die Sphygmobolometrie, eine neue Untersuchungsmethode der Zirkulation Deutsch. med. Wochenschr. Jahrg. 33, p. 628—631, 672—676.

Salaghi S. 1907. L'énergie cinétique (force vive) du courant sanguin et son importance dans les données sphygmomanométriques, d'après la théorie du mouvement des liquides. Arch. gén. Med. Ann. 87, p. 517—531.

Sasaparel 1902. Vergleichende Schätzung der klinischen Methoden der Blutdruckbestimmung. St. Petersburg.

Schenck 1903. Beschreibung einiger Apparate für das physiologische Praktikum. Pflügers Arch. 97, S. 421.

Schilling, Theodor 1906. Über Blutdruckmessungen. München. med. Wochenschr. Jahrg. 53, p. 1105—1109.

Schleisiek 1901. Untersuchungen mit dem Gärtnerschen Tonometer. Inaug.-Dissert., Rostock.

Schuele 1900. Über die Blutdruckmessung mit dem Tonometer von Gärtner. Berl. klin. Wochenschr. S. 726.

Schultheß 1908. Sphygmobolometrische Untersuchungen an Gesunden u. Kranken. Deutsch. med. Wochenschr. No. 22, 23.

Stanton 1903. A practical clinical method for determining blood pressure in man. Univ. of penn. med. bull. XV, S. 466.

Stillmark Hermann 1907. Ein neuer Blutdruckmesser. Berlin. klin. Wochenschr. Jahrg. 44. p. 692—695.

Strasburger 1904. Ein Verfahren zur Messung des diastolischen Blutdruckes, und seine Bedeutung für die Klinik. (Med. Klinik Bonn.) Zeitschr. f. klin. Med. 54, p. 373—407.

Strasburger 1907. Über Blutdruck, Gefäßtonus und Herzarbeit. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 1907, S. 459.

Tauber Siegfried 1905. Ein leicht transportabler Blutdruckmesser. Wien. klin. Wochenschr. Jahrg. 18, p. 806.

Uskoff, L. 1908. Der Sphygmotonograph. Zeitschr. klin. Med. Bd. 66, p. 90—105.

Vaquez, H. 1908. Sphygmo-signal. C. R. Soc. Biol. Paris T. 64, p. 875—977.

Vaschide und Lahy 1902. La technique de la mesure de la pression sanguine Arch. gén. de Med. II, p. 349, 480, 602.

Waltenhoven v., 1880. Die Messung des Pulses und des Blutdrucks. (Vergl. „Waldenburg" 1880!?)

Waldenburg 1880. Die Messung des Pulses und des Blutdruckes beim Menschen. Berlin. (Hier sind die früheren Abhandlungen von Waldenburg 1877—1880 zitiert).

van Westenrijk 1908. Apparat zur Bestimmung des Blutdruckes im ganzen Kreislaufe der oberen Extremität.-Universales Sphygmomanometroskop. Wien. med. Wochenschr. Jahrg. 58, p. 2363—2367.

Wolf 1902. Experimentelle Untersuchungen über die Blutdruckmessungen mit dem Gärtnerschen Tonometer. Wien. med. Presse, Bd. 43, S. 1349.

Kapitel 40.

Der Druck in den Kapillaren.

N. v. Kries (1875) maß den Druck in den Kapillaren nach demjenigen Gegendruck, der notwendig ist, um die Wände der Kapillaren zum Zusammenfallen zu bringen. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Wandsteifigkeit der Kapillaren zu vernachlässigen, und daß der Blutdruck in allen Kapillaren des untersuchten Gebietes gleich groß ist. Zu dem Zweck wurde auf die Haut ein Glasplättchen gelegt und so lange belastet, bis sie ihre Farbe veränderte oder weiß erschien. Die Entfärbung der untersuchten Hautstelle tritt allmählich ein, da zuerst die oberflächlichen und erst später die tieferen zusammengepreßt werden. Weil aber bei dem Zusammendrücken der tieferen Kapillaren das Bindegewebe der Haut einen Teil des einwirkenden Drucks trägt, so beobachtete v. Kries denjenigen Druck, bei welchem eine deutliche Farbenveränderung der Haut auftrat, d. h. bei dem die oberflächlichsten Kapillaren komprimiert wurden. v. Kries benutzte den nebenan abgebildeten Apparat. Unten befindet sich das Glasplättchen von 2,5 bis 5 mm im Quadrat. Das Glasplättchen ist an einem Glasleistchen befestigt und dieses steht durch ein Gerüst von feinen Tannenholzstäbchen mit der oberen Schale in Verbindung, auf welche die Gewichte aufgelegt werden. Die Fehlergrenzen bei diesen Untersuchungen sind ziemlich weit. Oft war es schwierig anzugeben, wann die Farbenveränderung erschien. Manchmal war auch der kleinste Gewichtszuwachs, bei dem sich eine Farbenveränderung zeigte, nicht kleiner als 0,25 g. Nach Roy and Brown (1880), die den Kapillardruck in der Schwimmhaut oder dem Mesenterium bestimmten, ist der Gewebsdruck ohne Bedeutung für diese Bestimmungen. Roy und Brown gingen so vor, daß sie die auf eine Glasplatte gelegte Schwimmhaut oder das Mesenterium durch eine dünne und transparente Membran, die über eine Glaskapsel gespannt war, komprimierten. Die Glaskapsel stand durch eine Röhre mit einem Druckreservoir in Verbindung. Der Druck wurde so lange erhöht, bis die Blutströmung in den Kapillaren bei der mikroskopischen Betrachtung verschwand. Dieselbe Methode wurde von Lapinski (1899) angewendet und S. 487 seiner Abhandlung eingehend beschrieben. Mit der v. Kriesschen Methode haben noch H. und B. Ballantyne (1899) gearbeitet. Über die Methode v. Recklinghausen s. das Kapitel 43.

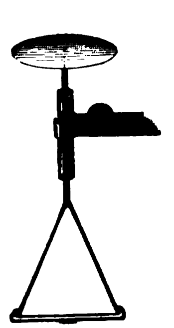


Fig. 37. Apparat von N. v. Kries.

Daß man aus dem arteriellen und venösen Druck unter Berücksichtigung des Widerstandes in den Kapillaren, den man etwa durch plethysmographische Versuche zu schätzen hätte, auf den Kapillardruck schließen kann (s. Schäfers Textbook II S. 117), erwähne ich der Vollständigkeit halber. Vergl. auch Bayliss und Starling (1894).

Ballantyne, H. und B., 1899. Prel. note on the effects of changes in external temperature on the circulation of blood in the skin. Journ. of Boston Soc. of med. science III p. 330.

Bayliss und Starling 1894. Observations of venous pressures and their relationship to capillary pressure. Journ. of physiol. XVI S. 159.
v. Kries, N., 1875. Über den Druck in den Blutkapillaren der menschlichen Haut. Ber. d. sächs. Akad. Math.-phys. Cl. p. 149.
Lapinski 1899. Studien über die lokale Blutzirkulation im Bereiche gelähmter Nerven. Du Bois-Reymonds Arch., Suppl., S. 477—509.
Roy and Brown 1880. The blood-pressure and its variations in the arterioles, capillaries and smaller veins. Journ. of Physiol. II p. 323.

Kapitel 41.

Der Druck in den Venen.

Über die Druckmessung in den Venen ist nichts Wesentliches hier zu sagen. Die allgemeinen Prinzipien sind in dem früheren Kapitel über die Messung des arteriellen Drucks besprochen. Es ist danach und nach den Auseinandersetzungen in Teil I selbstverständlich, daß das einzige Instrument, mit dem die Veränderungen des Venendrucks aufgezeichnet werden können, ein elastisches Manometer ist, das mit Flüssigkeit gefüllt ist, wenn man auch bedenken muß, daß wegen des geringen Elastizitätskoeffizienten des Manometers Luftblasen weniger Schaden als bei dem arteriellen Manometer mit dem hohen Elastizitätskoeffizienten anrichten[1]) (s. die Entwicklung in Teil I, bes. S. 69). Nach den Erörterungen im Teil I (Kap. 4, S. 28) bleibt die Güte eines derartigen Manometers unverändert, wenn die Empfindlichkeit gesteigert wird, vorausgesetzt natürlich, daß der rationelle Querschnitt der Kapsel gewählt worden ist. Dagegen wird die Schwingungszahl oder das Auflösungsvermögen eines solchen Instrumentes geringer, wenn man die Empfindlichkeit durch Wahl einer dünneren Membran oder schwächeren Feder in die Höhe setzt. Nun sind im allgemeinen die Anforderungen, die bei der Registrierung des Venenpulses an das Auflösungsvermögen gestellt werden, wesentlich geringer als bei der Verzeichnung des arteriellen Pulses. Man wird daher mit einem rationell in bezug auf die wirksame und reduzierte Masse und den Querschnitt konstruierten Manometer, wenn man seine Empfindlichkeit durch Verminderung des Elastizitätskoeffizienten bis zu dem notwendigen Grade steigert, den Venendruck ebenso gut aufgezeichnet erhalten, wie mit dem unempfindlicheren den arteriellen Druck. Bis jetzt hat man, ohne eine nähere Kritik des Instrumentes vorzunehmen, fast allgemein Mareysche Kapseln verschiedener Konstruktion angewendet. Es wäre natürlich erwünscht, wenn auch für die Verzeichnung des Venendrucks die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Instrumente festgestellt würden. Von den Abhandlungen, in denen die Veränderungen des Venendrucks in einer Weise registriert wurden, daß die Kurven den allgemeinen einfachen Voraussetzungen über ihren Verlauf zu entsprechen scheinen, erwähne ich hier nur die Arbeit von Fredericq (1890).

Daß das Wassermanometer zur Verzeichnung des Venendrucks höchst ungeeignet ist, habe ich in Teil I (Kap. 9) auseinandergesetzt. Seine Empfindlichkeit ist zwar sehr hoch, aber sein Auflösungsvermögen minimal, so

1) Nach meinen neueren Berechnungen ist hier der Lufttonograph (S. 61) sogar vorzuziehen.

daß seine Güte weit unter derjenigen der elastischen Manometer steht. Ein derartiges Instrument ist u. a. von Wertheimer (1895) angewendet worden.

Kaum brauche ich zu betonen, daß die Verwendung eines Pistonrekorders nicht angebracht ist, denn er ist nichts weiter als ein Wassermanometer mit allerdings besserer Registriervorrichtung, als sie ein gewöhnlicher Schwimmer ist.

Bei dem Einbinden der Kanüle ist besonders darauf zu achten, daß die Wände des Gefäßes nicht gezerrt werden.

Ich erwähne noch, daß Knoll (1897) mit einer Schreibtrommel den Druck in der durch eine Ligatur von dem Vorhof isolierten Vena cava superior, und daß Hering (1904) mit Mareyschen Kaspeln den Venenpuls am isolierten, künstlich durchströmten Säugetierherzen verzeichnet haben.

Fredericq 1890. Recherches sur la circulation et la respiration. Sur le pouls veineux physiologique. Bull. d. l'acad. d. Belg. (3) XIX, p. 61, auch Arch. d. biologie X, S. 211.
Hering 1904. Die Verzeichnung des Venenpulses am isolierten, künstlich durchströmten Säugetierherzen. Arch. f. d. ges. Physiol. 106, p. 1.
Knoll 1897. Über den Einfluß des Herzvagus auf die Zusammenziehungen der Vena cava superior beim Säugetier. Pflügers Arch. LXVIII, p. 339.
Wertheimer 1895. Influence de la respiration sur la circulation veineuse des membres inférieurs. (Physiol. Labor. Lille.) Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 107.

Kapitel 42.

Der Venenpuls.

Wenn man den Venenpuls verzeichnen, d. h. die Kurve der Druckschwankungen in den Venen ohne Eröffnung der Gefäße erhalten will, darf man natürlich nur ein Instrument anwenden, das einen minimalen Druck auf die Venenwand bezw. auf die Hautstelle, unter der die Vene liegt, ausübt. Es muß im wesentlichen als bewegungsregistrierendes Instrument fungieren. Die Anwendung eines Federsphygmographen verbietet sich abgesehen von den technischen Schwierigkeiten der Anlegung eines solchen Apparates somit von selbst.

Um den Puls der bloßgelegten Vene zu verzeichnen, hat Gottwalt (1881) das Lufttransmissionsverfahren angewandt und als Aufnahmekapsel einen Apparat verwandt, dessen Konstruktion ich wegen des technischen Interesses an der Hand der umstehenden Abbildungen (Fig. 38a und b) beschreibe.

Der wesentliche Teil der Kapsel besteht aus einem halben Hohlzylinder aus Metall A, der an seinen beiden Enden abgeschrägt ist. Über den Rand des Zylinders wird eine dünne Kondommembran aufgebunden. Um dies zu ermöglichen, ist zur Führung des Fadens eine Rinne entlang dem Rand eingeschliffen, deren Verlauf durch die dunkle Linie in der Figur angedeutet ist. In die Wand des Hohlzylinders ist eine Röhre C eingesetzt, die den durch die Membran und die Innenwand des Hohlzylinders gebildeten Raum mit einer Mareyschen Kapsel verbindet. Diese Aufnahmekapsel ist an

einer Klemmvorrichtung befestigt, deren Konstruktion aus der Fig. 38b hervorgeht. Die mit diesem Instrument erhaltenen Kurven würden unzweifelhaft wesentlich charakteristischer ausgefallen sein, wenn die hier besonders angebrachte photographische Registrierung verwendet worden wäre.

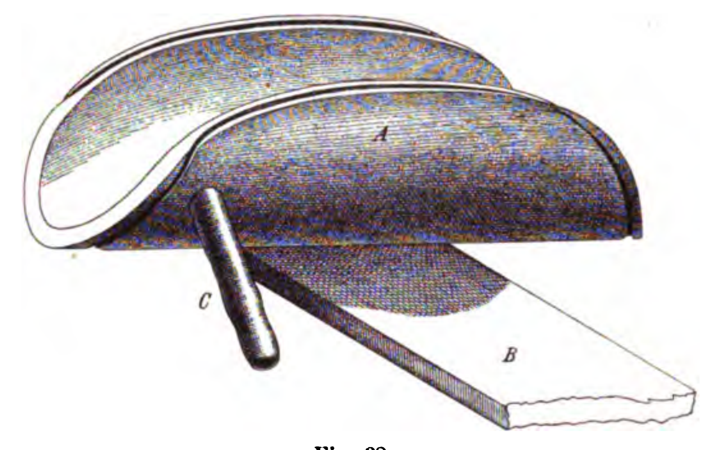


Fig. 38a.
Rinne zur Aufnahme der Vene nach Gottwalt.

Fredericqs Verfahren (1890) ist ähnlich wie das Gottwaltsche. Sein Apparat besteht aus einer unter die bloßgelegte Vene geschobenen Rinne, während eine zweite bewegliche Rinne über der Vene mit einem empfindlichen Tambour verbunden ist.

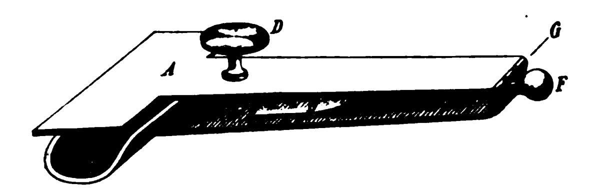


Fig. 38b.
Rinne samt Klemmvorrichtung.

Wenn man den Venenpuls ohne Freilegung der Vene aufnehmen will, so wird man auch bei dem Tier dieselben Vorrichtungen anwenden, wie sie in dem nächsten Kapitel beschrieben werden.

Gottwalt 1881. Der normale Venenpuls. (Physiol. Institut Straßburg.) Arch. f. d. ges. Physiologie XXV, p. 1.

Fredericq 1890. Recherches sur la circulation et la respiration. Sur le pouls veineux physiologique. Bull. d. l'acad. d. Belg. (3) XIX, p. 61.

Kapitel 43.

Druck und Puls in den Venen bei dem Menschen.

Der Venenpuls wird beim Menschen so aufgeschrieben, daß über die Hautstelle, wo die Vene pulsiert, ein kleiner Trichter möglichst leicht aufgesetzt wird, der mit einem Mareyschen Tambour verbunden ist. Der Trichter kann auch mit einer dünnen Gummimembran überspannt sein und

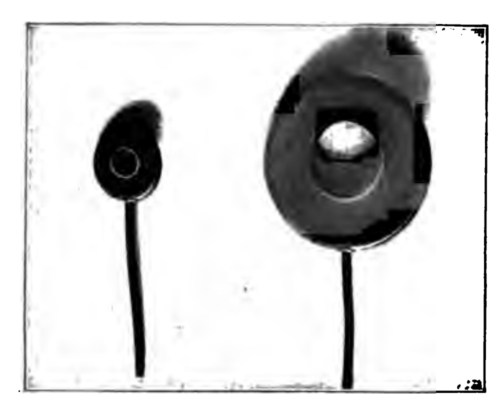


Fig. 39.
Gummiringe zur Messung des Venendrucks nach v. Recklinghausen.

eventuell eine kleine Pelotte auf der Membran aufgeklebt erhalten. Eine solche Vorrichtung gibt z. B. Bard (1906 S. 457) an, freilich sind die von ihm veröffentlichten Kurven wenig charakteristisch.

Auch bei dem Menschen läßt sich die Größe des Venendrucks annähernd schätzen. Gärtner (1903, s. a. Frey 1902) läßt einen Arm so weit

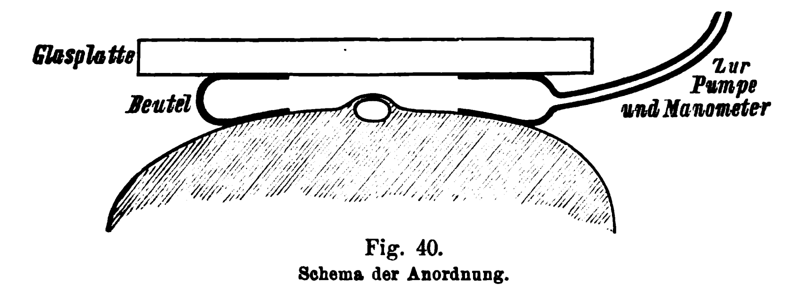


Fig. 40.
Schema der Anordnung.

heben, bis die sichtbaren Venen an einem Punkt des Armes verschwinden, d. h. zusammenfallen. Die Höhe dieses Punktes über dem Herzen hält Gärtner für den Venendruck (den Druck im rechten Vorhof) in Blutsäulen gerechnet. v. Basch (1904) mißt den Venendruck so, daß er auf die Haut einen unten offenen Glaszylinder kittet, in dem durch einen Ballon die Luft komprimiert wird, bis die Vene abschwillt. Dieser so bestimmte Druck ist ein Maß für den Venendruck.

v. Recklinghausen (1906) drückt eine passende Vene (am Fuß- oder Handrücken) durch einen auf die betreffende Hautstelle aufgelegten Gummiballon zusammen. Die obere und die untere Wand des Gummiballons besitzt eine Öffnung. Mit der unteren wird der Ballon auf die Hautstelle aufgepreßt, auf die obere wird eine Glasplatte aufgelegt. Der Verschluß der Ränder der Öffnungen wird durch die angepreßte Haut und die Glasplatte bewirkt. Die Dichtung wird vollständig durch Bestreichen der Ränder mit Glyzerin. Durch die Glasplatte kann das bei einer Erhöhung des Drucks in dem Ballonsystem eintretende Kollabieren der Vene beobachtet werden. Dieser Druck gibt den Venendruck an.

Eine ähnliche, nur etwas kleinere Vorrichtung dient v. Recklinghausen zur Bestimmung des Kapillardrucks. Hierbei wird das Erbleichen bezw. das Wiedererröten der komprimierten Hautstelle beobachtet.

Die sämtlichen Vorrichtungen sind bis jetzt nur unzulänglich experimentell geprüft worden.

Bard 1906. De l'enregistrement graphique du pouls veineux des jugulaires chez l'homme. Journ. Physiol. Pathol. gén. Paris. T. 8, p. 454.

v. Basch 1904. Erfahrungen über den Venendruck des Menschen. Arch. des scienc. biol. d. St. Petersburg. 11. Suppl., p. 117.

Frey 1902. Über die Bedeutung der Venendruckmessung für die diätetisch-physikalische Behandlung der Kreislaufstörungen. Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 73.

Gärtner 1903. Die Messung des Druckes im rechten Vorhof. Münchener med. Wochenschr. Nr. 47, auch 1904 S. 212.

Peters 1904. Münchn. med. Wochenschr. S. 1107.

v. Recklinghausen 1906. Unblutige Blutdruckmessung. 3. Abhandl. Messung des Blutdrucks in den kleinen Arterien, Venen und Kapillaren des Menschen. Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. 55 S. 375.

Kapitel 44.

Die Volumveränderungen der Herzhöhlen. Das Schlagvolumen.

Die Blutmenge zu bestimmen, die von dem Herzen ausgeworfen wird, ist ebenso wichtig, wie die Bestimmung des Blutdrucks. Und von derselben Bedeutung, wie die zeitliche Feststellung der Druckänderungen ist auch die Ermittlung der zeitlichen Veränderung des Herzvolumens. Die beiden Variablen, Volumen und Druck, sind ja diejenigen, deren Kenntnis notwendig ist, wenn man die mechanischen Zustandveränderungen des Herzens und damit seine Leistungen beurteilen will.

Die Ermittelung der Volumenveränderungen des Herzens ist jedoch wesentlich schwieriger als die Bestimmung des Drucks in dem Herzen. Es sind dreierlei Methoden denkbar, mit denen sie erzielt werden kann. (Siehe auch das Referat von Tigerstedt in den „Ergebnissen“ 1907, S. 269 ff.)

1. Die Plethysmographie oder Onkographie des Herzens. (Über die Prinzipien der Onkographie im Allgemeinen s. Kap. 46.) Die Schwierigkeiten, welche die Anwendung dieser Methoden bedingt, liegen hauptsächlich darin begründet, daß das Herz kein einfaches Organ ist, sondern vier Abteilungen

der Herzpumpe umfaßt. Wenn man also das ganze Herz in einen Onkographen einschließt, so bekommt man — richtige Registrierung vorausgesetzt — die zeitlichen Veränderungen des Volumens des ganzen Herzens, das die Summe der teilweise in verwickelter zeitlicher Aufeinanderfolge sich verändernden Volumina der einzelnen Abteilungen ist. Bis zu einem gewissen Grad gelingt es, die Ventrikel allein in den Onkographen einzuschließen. Selbst wenn dies vollständig möglich wäre, könnte es sich bei einer derartigen Registrierung nur um die Feststellung der mittleren Volumveränderung der beiden Ventrikel, des rechten und des linken, handeln. Temporäre Verschiedenheiten der Volumveränderungen der einzelnen Ventrikel kommen in der Kurve nicht zum Ausdruck.

2. Die Messung des Sekundenvolumens in der Aorta. Mit dieser Methode gelangen zunächst die Volumveränderungen nicht zum Ausdruck, die durch die Zirkulationsmenge des Koronarkreislaufes bedingt sind. Sie können aber annähernd eingeschätzt werden. Das Sekundenvolumen der Aorta kann durch verschiedene Methoden bestimmt werden, von denen bis jetzt eine ausgedehnte Anwendung nur die Stromuhr gefunden hat. (Die Beziehungen zwischen Schlagvolumen und Sekundenvolumen sind so einfach, daß sie kaum hier erwähnt zu werden brauchen. Bezeichnet P das Schlagvolumen, t die Dauer eines Herzschlags und S das Sekundenvolumen, so ist $S = P/t$.)

3. Indirekte Methoden. Diese werden unten näher beschrieben. Ihr wesentlicher Nachteil besteht darin, daß die von dem Herzen ausgeworfenen Blutmengen nur für längere Zeitintervalle durchschnittlich bestimmt werden können.

Die alten Versuche, den Inhalt des Herzens am toten Organ zu bestimmen (siehe Gscheidlen, S. 560—562: Methoden von Santorini 1724, Dogiel 1868, Legallois 1824, Abegg 1848, Brücke 1850, Hiffelsheim und Robin 1864) bieten kein technisches Interesse.

Daß es nicht möglich ist, aus der Durchblutung eines Organes, beispielsweise des Unterarms, auf das Schlagvolumen des Herzens einen Rückschluß zu ziehen, braucht nicht weiter diskutiert zu werden. Es erscheint daher nicht nötig, die Gedankengänge A. Müllers (1908), der dies versucht hat, im einzelnen näher zu kritisieren. In denselben Fehler waren bekanntlich Volkmann (1850) und Vierordt (1858) verfallen. (Siehe Gscheidlen, S. 562—563; vgl. auch die Überlegungen von Hoorweg 1897.)

Sehr ungenau ist die Berechnung des Sekundenvolums des Herzens aus der sogenannten Kreislaufzeit (siehe unten Kap. 54) und der Blutmenge des Tiers.

A. Die Onkographie bezw. Plethysmographie des Herzens.

a) Des ganzen Herzens.

Eine Reihe von Autoren haben den Perikardialsack als Onkographenkapsel benutzt, d. h. sie haben ihn durch eine Kanüle mit einem Volumenschreiber verbunden. So sind von François Franck (1877) die Volumveränderungen des Herzens bei Hunden aufgeschrieben worden. Als Volum-

schreiber diente ein Mareyscher Tambour, der mit dem Perikardialsack verbunden war. Das System war, abgesehen von der Perikardialflüssigkeit, mit Luft gefüllt. Eine ähnliche Methode wandte Stefani (1891/92) in zahlreichen Arbeiten an. Auch Luciani hatte schon (1871) bei seinen Untersuchungen über die aktive Diastole eine ähnliche Versuchsanordnung gewählt. Johannsson und Tigerstedt (1889) haben die Methode weiter vervollkommnet und eingehend geprüft. Sie beschreiben die Technik folgendermaßen: S. 344 „Die Brusthöhle wird in gewöhnlicher Weise weit geöffnet,

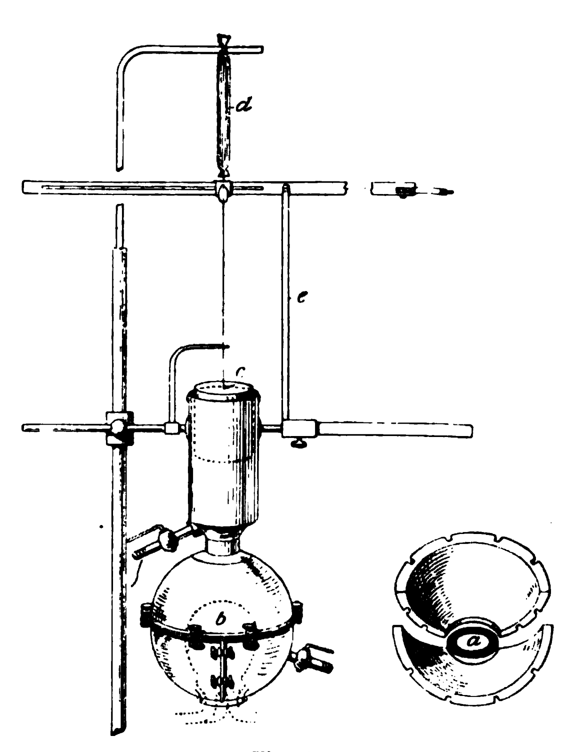


Fig. 41.
Cardiometer nach Roy.

dann wird in die hintere Hälfte der vorderen Wand des Perikards eine Glaskanüle mit umgebogenem Rande eingebunden. Um die Einbindung am besten auszuführen, werden zuerst am Perikard zwei Fäden in einer gegenseitigen Entfernung von etwa 5 mm, um als Handhabe bei der Einführung der Kanüle zu dienen, gebunden. Dann wird zwischen diesen beiden Fäden ein Loch in genügender Größe mit einer scharfen Schere geschnitten, die Kanüle eingeführt und mittels eines starken Fadens oberhalb des umgebogenen Randes festgesetzt“. Da der Schreibapparat bei jeder Stellung gar keinen Druck auf die in dem System befindliche Luft ausüben darf, — schon wegen der Nachgiebigkeit des Perikards — wandten sie zur Volumregistrierung

ihren Pistonrekorder (siehe Kapitel 18) an.[1]) Die Verfasser geben in ihrer späteren Abhandlung 1891 (siehe auch die frühere von 1889) an: „Die registrierten Volumschwankungen sind also nicht allein von derjenigen der Kammern, sondern auch von den Variationen der Blutzufuhr zu den Vorhöfen und den großen Venen bedingt". Trotzdem lassen sich einige Schlüsse aus den Kurven ziehen, die S. 413 dieser Abhandlung aufgezählt sind. Cavazzani (1893) und Heitler (1903 und 1905) wandten dasselbe Verfahren an.

Knoll (1880) vermeidet bei der Operation die Verletzung der Rippenfellsäcke. (Nach Johansson und Tigerstedt, 1889, S. 344.)

François Franck (1877) gebrauchte zuerst einen Onkographen mit festen Wänden. Ein Glasgefäß wurde über das Herz gestülpt und luftdicht mit dem Perikardialraum dadurch verbunden, daß das Perikard über seine Öffnung gezogen wurde.

Roy und Adami (1892) konstruierten ein besonderes Instrument, das sie Kardiometer nannten. (Abbildung Schäfers Textbook, S. 49.) Die Dichtung geschieht durch Befestigung der Parietalwand des Perikards an den Apparat. Schließlich wird das Kardiometer mit Öl gefüllt und durch eine Röhre mit einem Pistonrekorder verbunden. (Siehe Fig. 41.)

Aus der Beschreibung (S. 202 ff.) ist hervorzuheben: daß sie die untere Hälfte ihrer Kardiometerbüchse sowohl für große als für kleine Hunde einrichteten. Für die Versuche waren zwei Kugelhälften bereit, eine mit einer kleinen Öffnung, die andere mit einer größeren Öffnung für verschieden große Hunde. Diese unteren Hälften bestehen aus je zwei, teilweise durch Schliffe, dann auch durch eine Mischung von „resin und lard" luftdicht verschließbaren Quadranten. Der Rand der Perikardialöffnung wird durch einen Metallring und weiter durch einen Gummiring an dem Rand der Öffnung der Kardiometerbüchse öldicht befestigt. Die Büchse ist verbunden mit einem Pistonrekorder Royscher Konstruktion, dessen Kolben durch einen Gummifaden so weit gehoben wird, daß ein negativer Druck (von etwa 5—6 mm Hg) in dem Kardiometerraum entsteht. Der Versuch kann eventl. einen ganzen Tag lang fortgeführt werden. Roy und Adami glauben, daß die Interferenz der Vorhofbewegungen die Bestimmung nicht alteriert, besonders da es ihnen nur auf relative Feststellungen ankommt. In dieser Allgemeinheit ist die Behauptung sicher nicht richtig, die Methode hätte unbedingt in diesem Punkt geprüft werden müssen. Da es bisweilen sehr mühsam ist, die vielen Ordinaten auszumessen, haben sie mit der Kolbenstange des Pistonrekorders ihren Automatic Counter verbunden, der ähnlich wie ein Arbeitssammler konstruiert ist. Durch die Bewegungen der Kolbenstange wird ein Rad in einer Richtung gedreht, so daß der ganze Weg des Rades gleich der Summe der Aufwärtsbewegungen des Kolbens in einer bestimmten Zeit ist. Die Zahl der Umdrehungen des Rades wird elektromagnetisch signalisiert. Man braucht nicht weiter zu betonen, daß dieses

1) Um den Einfluß der Lungenbewegung (künstliche Respiration der kurarisierten Tiere) auf die Registrierung möglichst zu vermindern, haben Johansson und Tigerstedt nach Lösung des unteren Abschnitts des Perikards eine erwärmte messingene Scheibe mit passender Krümmung unter das Herz geschoben. Die Scheibe wird an zwei Haltern festgeschraubt (1889, S. 349).

Instrument die Leistungsfähigkeit des Kardiometers nebst Pistonrekorders nicht erhöht. Roy und Adami scheinen es auch nur selten angewandt zu haben, denn ich habe in der ganzen Abhandlung keine Registrierungen entdecken können, die zweifellos mit diesem Instrument gemacht worden wären. Die Absicht, die Roy und Adami bei der Konstruktion verfolgten, wäre ebenso einfach durch die Integration der Kardiometerkurven unter Berücksichtigung der Pulszahl zu erreichen gewesen, ohne daß ein die Mechanik des Instruments stark beeinflussender Teil angefügt worden wäre.

Die Ergebnisse der zahlreichen Versuche, die Roy und Adami mit dieser Methode erhalten haben, sind zum Teil mit großer Vorsicht aufzunehmen.

Hill und Barnard (1897) schlugen vor, das Kardiometer aus einem Tennisball zu bilden. Sie ziehen das Perikard um den Ball und machen die Verbindung durch dickes Vaselin luftdicht. Carter (1898) und Blank (1905) verwandten ähnliche Vorrichtungen, ersterer ohne Registrierapparat.

Ich zitiere noch die Abhandlung von Schreiber (1905) nach Hermanns Jahresbericht Nr. 55.

b) Plethysmographie der Ventrikel allein.

Johansson und Tigerstedt (1891) haben zum ersten Mal den Versuch gemacht, die Herzkammern allein in einen Plethysmographen einzuschließen. Sie schreiben darüber S. 422/23:

„Die Aufgabe war, die Volumschwankungen der Kammern allein zu registrieren. Wir machten uns aus Blech einen kleinen Plethysmograph, dessen Höhle in gewöhnlicher Weise mit dem Pistonrekorder kommunizierte. Die Mündung des kleinen Apparates wurde durch eine sehr feine Gummimembran (Condom) geschlossen. In derselben war für die Einführung der Kammern ein kleines Loch gemacht. Es war notwendig, eine sehr zarte Membran zu diesem Zwecke zu verwenden, weil sonst der Druck ihrer Ränder auf das Herz zu groß und die Blutzufuhr von den Vorhöfen aus wesentlich verhindert wurde. Damit aber durch die Zartheit der Membran die zu registrierenden Volumschwankungen nicht ganz unsicher sich darstellen sollten, wurde dieselbe mit einer ziemlich dicken Lage von einer Wachs-Harzmischung, welche nur einen kleinen Raum um das Loch herum frei ließ, überzogen. Das Loch wurde mit dem Thermokauter gemacht; wenn man es mit der Schere schneiden will, bekommt die zarte Membran kleine Risse, welche dieselbe bald zerstören."

„Wir hegten anfangs die Hoffnung, zu gleicher Zeit auch absolute Werte des Schlagvolumens erhalten zu können. Es zeigte sich aber, daß die Methode zu diesem Zwecke nicht genügend war."

S. 424/25. „Angesichts dieser Umstände liegt es nahe, durch diese Methode das Schlagvolumen der Kammern zu bestimmen. Dies ist aber nicht möglich, weil es nicht geht, die Kammer vollständig in den Plethysmograph einzuschließen. Wenn nämlich der Apparat so gestellt wird, daß die Membran die Vorhofskammergrenze eben umfaßt, so wird der von ihr ausgeübte Druck auf die Vorhofswände — wenn der Verschluß sicher sein soll — so stark, daß die Blutzufuhr zu den Kammern in einem viel zu erheblichen Grade vermindert wird. Wir haben uns daher gezwungen gesehen, den Apparat

derart anzulegen, daß die Membran in der Regel die Kammern an ihrer Basis, etwa entsprechend dem Con. art. dext., umfaßte. Der größte Teil der Kammern ist also im Plethysmograph eingeschlossen — absolute Bestimmungen aber nicht gestattet."

Henderson (1905 und 1906) verwandte Gummibälle als Onkometer und zwar 6 Stück von verschiedener Größe. Die Registrierung geschah mit einem sehr weiten Tambour (10—12 cm Durchmesser). In jedem Ball war ein Fenster von etwa 0,7 des Balldurchmessers ausgeschnitten. Über dieses Fenster wurde eine dünne Gummimembran geklebt, die durch ein Loch von etwa $^2/_3$ des Fensterdurchmessers perforiert war. Der Rand dieser Öffnung diente zur Abdichtung an der Kammerbasis. Das Schema der Anordnung zeigt die nebenstehende Abbildung. Die meisten Tiere (Hunde) wurden nach der Eröffnung des Thorax nach der Methode Sauerbruch-Brauer künstlich respiriert.

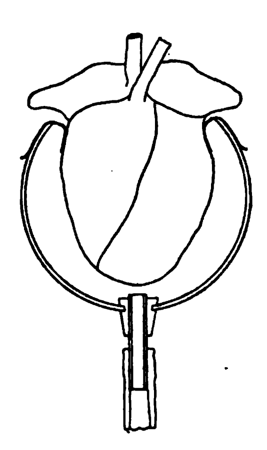


Fig. 42.
Ventrikel-Onkometer nach Henderson. (1906, S. 335.)

Rothberger (1907) benutzt als Onkometer eine Glasbirne, deren Öffnung mit einer Gummimembran verschlossen ist; in diese wird ein Loch gebrannt, durch welches das Herz bis zur Atrioventrikulargrenze vorgeschoben wird. Der Blutdruck darf nach der Einführung nicht absinken. Zur Registrierung wird ein Hürthlescher Pistonrekorder (vielleicht besser Bellows Rekorder Referent) ohne Ölung verwandt (siehe Kap. 15 u. 18). Er konstatierte durch Kontrollversuche mit der Hürthleschen Stromuhr, daß ein derartiges Onkometer die Volumschwankungen ziemlich richtig aufschreibt. Er macht jedoch besonders auf den Fehler einer etwa auftretenden relativen Insuffizienz des Herzmuskels aufmerksam (S. 373, siehe auch Frank, Dynamik des Herzmuskels), ferner auf den bei der Methode fehlenden Schutz, den das Perikard (Barnard 1908) gegen die allzu großen Ausdehnungen des Herzens ausübt. Mit dem Herz-Plethysmographen ergeben sich Fehler der Volumbestimmungen bis zu 30 %. Er ist nur zu Vergleichsversuchen zu verwenden, wie das auch Johansson und Tigerstedt angegeben haben.

B. Die Messung des Sekundenvolumens in der Aorta.

Die ersten Versuche, die Stromstärke des Blutes unmittelbar in der Aorta zu bestimmen, rühren aus dem Ludwigschen Laboratorium her. Die Anordnung, die Stolnikow (1886) und Pawlow (1887) (siehe Kap. 24) in Ludwigs Laboratorium anwandten, sollte auch die gesamte Blutmenge, die von der linken Kammer ausgeworfen wird, bestimmen. Daß hierbei direkt der gesamte Blutstrom, der durch die Aorta strömt, festgestellt werden muß, war schon von Dogiel (siehe Kap. 19) erkannt worden. Die Messung eines Teilstroms, etwa in der Carotis, erlaubt wegen der verschiedenen Widerstände in den einzelnen Gefäßgebieten keinen Rückschluß auf den Gesamtstrom

(siehe oben S. 247). Die Methode Stolnikows und Pawlows und auch diejenige Martins (siehe Kap. 24) ermöglichte nur bei einem künstlichen Kreislauf die Stromstärke in der Aorta zu bestimmen. Daß dies immerhin für die Lösung gewisser Probleme zweckmäßig ist, liegt auf der Hand. Die Stromstärke unter vollständiger Erhaltung des natürlichen Kreislaufs zu messen, ist zuerst Tigerstedt (1891) gelungen. Tigerstedt hat seine Stromuhr (siehe Kap. 19) unmittelbar in die ungeteilte Aorta eingesetzt.

Tigerstedt hatte vorher beobachtet (1890), daß man die Blutzufuhr zu den Kammern durch eine über die Vorhöfe gelegte Klemme 3—5 Minuten lang verhindern kann, ohne daß das Tier stirbt. „Wenn es gelingen sollte, während dieser Zeit einen zweckentsprechenden Apparat in die Aorta einzusetzen, so könnte die betreffende Bestimmung gemacht werden. In der Tat ist dies freilich nach vielen vergeblichen Versuchen mir gelungen.“

„Das Kaninchen wird kurarisiert und in gewöhnlicher Weise die künstliche Atmung eingeleitet, dann der Brustkasten durch ausgiebige Resektion der Rippen weit eröffnet. Hierbei muß man besonders darauf acht geben, daß die oberen Rippen in genügender Ausdehnung fortgenommen werden, denn für das Gelingen des Versuchs ist es vor allem notwendig, in der Gegend der großen Gefäße einen möglichst weiten Raum zur Verfügung zu haben.

Der Thymus muß vollständig exstirpiert werden. Ich mache dies in der Weise, daß ich die Drüse in ihrer Mittellinie spalte und dann mit stumpfen Instrumenten die beiden Hälften herausschäle. In der Regel blutet die Drüse nur sehr wenig. Wo Gefäße zum Vorschein kommen, werden sie gebunden.

Dann wird das Perikard gespalten und in der von Ludwig angegebenen Weise an die Ränder des Brustkastens genäht. Das Herz ist zu der endlichen Operation fertig.

Zu dieser werden zwei starke Fäden um die Aorta gelegt; dieselben sollen dazu dienen, die Kanülen zu befestigen. Es ist nützlich, sie etwas getrennt voneinander anzubringen, weil sie beim folgenden Durchschneiden der Aorta durch das die Aorta pulmonalis verbindende Bindegewebe in richtiger Lage gehalten werden. Sonst, und besonders wenn man dieses Bindegewebe abpräpariert und also die beiden großen Arterien voneinander vollständig trennt, ereignet es sich nur allzu leicht, daß der eine Faden eine unrichtige Lage bekommt und dadurch das Ligieren eine größere Zeit beansprucht. Nun wird um die Vorhöfe eine große Pinzette gelegt, um die Blutzufuhr zu den Kammern abzusperren. Die Pinzette darf aber keinen zu starken Druck ausüben, so daß die Nerven oder die Muskelsubstanz zerstört werden. Daher werden die Branchen der Pinzette mit einem Kautschukschlauch überzogen.

Bei der Anwendung derselben (s. Fig. 43) werden die Vorhöfe etwa zwischen a und b gefaßt, und der übrige Teil der Pinzette fällt an der Seite des Brustkastens herab. Hierdurch wird die Aorta gedehnt, was in einem erheblichen Grade die Einführung der Kanülen erleichtert.

Nach der Anlegung der Vorhofsklemme wird eine kleine Pinzette (Serrefine) um das periphere Ende der Aorta, dicht unterhalb des Abganges der Aorta anonyma gelegt, um den Ausfluß des in den Arterien befindlichen

Blutes zu verhindern. Auch die nunmehr unnütze künstliche Atmung wird unterbrochen, damit die Bewegungen der Lungen beim Einführen der Kanülen nicht störend einwirken sollen.

Die Aorta wird etwa in der Mitte ihrer Länge quer geöffnet, aber nicht vollständig durchschnitten. Die kleine Ludwigsche Kanüle, zu deren Halten

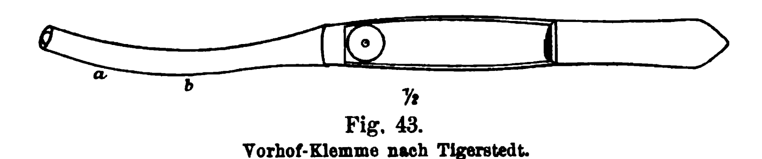


Fig. 43.
Vorhof-Klemme nach Tigerstedt.

ein kleines Stäbchen dient, wird in das periphere Ende eingeführt und dort mit dem schon vorher angebrachten Faden festgebunden. Alle beide Kanülen werden mit 8 % Peptonlösung gefüllt, die noch zurückgebliebene Brücke der Aortawand durchschnitten und die Kanülen an die konisch auslaufenden Enden der Stromuhr befestigt. Die Stromuhr wird von einem am Kaninchenbrett befestigten Stativ getragen und muß so eingestellt werden, daß die an den Kautschukschläuchen befestigten Endstücke keine Dehnung auf die getrennten Teile der Aorta ausüben.

Jetzt werden sämtliche Pinzetten fortgenommen und der Kreislauf beginnt wieder.

Bei dem Öffnen der Aorta, nach der Anlegung der Pinzetten, strömt, trotz der Abklemmung der Vorhöfe, jedoch während der ersten nachher stattfindenden Herzschläge Blut aus dem Herzen hervor. Hierin sehe ich einen ganz augenfälligen Beweis dafür, daß sich das Herz bei seiner Systole nicht vollständig entleert. Denn nach der Anlegung der Pinzette um die Vorhöfe vergeht jedenfalls eine gewisse Zeit, bevor die Aorta geöffnet wird. Entleert sich das Herz in der Regel vollständig, so sollte ja beim Öffnen der Aorta aus demselben kein Blut mehr herausgetrieben werden können.

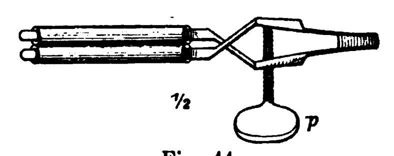


Fig. 44.
Andere, weniger bewährte Form der Klemme.

Die Einsetzung der Stromuhr in die Aorta ist ja an und für sich durchaus nicht schwierig, müßte sie nicht in einer so kurzen Zeit (3—4 Min.) ausgeführt werden. Dies macht aber, besonders bei der kleinen Länge der Kaninchenaorta, die Operation zu einer nicht gerade leichten. Hier ist vor allem die Beihilfe eines guten Assistenten notwendig.

Jede Minute, fast jede Sekunde, die man bei der schließlichen Operation gewinnen kann, ist für den Erfolg des Versuchs von Bedeutung. Je schneller die Operation gemacht werden kann, um so kräftiger stellt sich das Herz dar, um so leistungsfähiger sind die Gefäßzentren.

Wenn die Operation gut gelingt, kann man sie ausführen, ohne daß das Tier mehr als etwa 1—2 ccm Blut verliert.

Eigentlich sollte man für jede Stärke der Aorta eine besondere Stromuhr haben, da ja nicht nur die Kanülen, sondern auch die ganze Röhren-

leitung derselben angepaßt werden müssen. Da dies nicht möglich gewesen, habe ich für meine Versuche, soweit tunlich, nur Kaninchen von etwa 1500—1600 g Körpergewicht benutzt."

Tigerstedt hat bei seinen Versuchen wegen der zu großen Umständlichkeit die Temperatur des Tieres nicht konstant gehalten. Die Abkühlung durch die Stromuhr selbst schätzt er nur sehr gering.

Um den Widerstand der Stromuhr zu bestimmen, hat Tigerstedt den Druck des Blutes vor der Stromuhr an einer Seitenröhre der Stromuhr gemessen, und ebenso den Druck hinter der Stromuhr dadurch, daß er ein Manometer mit der Carotis verbunden hat. Die Druckdifferenz zwischen diesen beiden Punkten betrug im Mittel 18 mm Quecksilber und in Prozent des Aortendrucks 15 %. Die Druckdifferenz war nicht wesentlich kleiner, wenn er den Blutstrom den direkten Weg durch eine besondere Kommunikation in der Stromuhr leitete. (S. 155/56.)

Im Anfang der Durchleitung durch die Stromuhr trat meistens eine ziemlich beträchtliche Drucksenkung auf. Es sind wohl im Beginn der Messung — etwa 100—200 Sekunden nach dem Ende der Operation — die Gefäßzentren von den während der Sistierung des Kreislaufs stattgefundenen Schädlichkeiten schon wieder erholt. Sie besitzen aber wahrscheinlich noch nicht ihre volle Leistungsfähigkeit und Ausdauer. Bei dem Beginn der Messungen wird die in der Stromuhr enthaltene Kochsalzlösung, bei der großen Stromuhr ca. 10 ccm in den Kreislauf geworfen, und die Gefäßzentren werden von einem ziemlich verdünnten Blut umspült. Es entsteht dadurch eine mehr oder weniger bedeutende Gefäßdilatation und die beobachtete Drucksenkung (S. 233).

Bei diesen Versuchen wurde kein gerinnungshemmendes Mittel benutzt. Nichtsdestoweniger stellt sich während der Beobachtungsdauer in der Stromuhr keine Gerinnung ein. Eine intravaskuläre Gerinnung wurde ebenfalls nicht beobachtet (S. 158). Der Widerstand, den die Stromuhr bietet, konnte bei der Diskussion der Versuchsresultate in Rechnung gezogen werden. Im Jahre 1907 wiederholte Tigerstedt seine Versuche mit einigen Variationen. Er benutzte bei ihnen das von Franz (1903) aus Blutegeln dargestellte Hirudin (siehe Kap. 61). Die Versuche konnten sehr lang ausgedehnt werden und wurden niemals wegen eintretender Gerinnung unterbrochen. Das Hirudin wurde den Kaninchen unmittelbar vor der letzten Operation an der Aorta in Mengen von 1 mg pro 7,5 ccm Blut (Blutmenge = 5 % des Körpergewichts) in die Vena jugularis eingespritzt.

In einer weiteren Versuchsreihe des Tigerstedtschen Laboratoriums, die von Elving und v. Wendt (1907) durchgeführt wurde, wurde die Stromuhr in die Aorta descendens eingesetzt, nach dem Abgang der linken Subclavia. Die Einfügung der Stromuhr in die Aorta ascendens hat den hauptsächlichen Nachteil, daß durch die Kompression der Vorhöfe während der Operation der Einfluß der Herznerven auf die Kammertätigkeit vernichtet wird. Wenn mit einer in die Aorta descendens eingesetzten Stromuhr auch nicht der ganze Aortenstrom geeicht wird, so müssen doch „alle Veränderungen, welche durch verschiedene Einwirkungen auf das Herz oder die Gefäße hervorgerufen werden, sich in der Blutströmung in diesem Gefäß

geltend machen, und eine derartige Stromeichung wird im großen ganzen ein verkleinertes Bild der Vorgänge in der unverzweigten Aorta abgeben".

„Sämtliche Versuche wurden an Kaninchen unter Anwendung von Hirudin gemacht. Unter Äthernarkose wurden die ersten Präparationen ausgeführt und dann das Tier kurarisiert. Bei der Präparation der Aorta thoracica wurde das Tier in die rechte Seitenlage gebracht und an der linken Brustwand eine Reihe Rippen, nach Fortnahme der Muskeln, reseziert, bis die Aorta in der Tiefe erschien. Sie wurde nun sehr vorsichtig frei präpariert (Vermeidung einer Läsion der Interkostalarterien), sodann an beiden Enden temporär abgeklemmt und die Kanülen der Stromuhr wurden eingebunden. Die Stromuhr faßte 10 ccm."

Lohmann (1907) hat zur Bestimmung des Schlagvolumens einen Apparat konstruiert, dessen Prinzip folgendes ist: Man durchschneidet die Aorta vor dem Abgang der großen Halsgefäße, und bindet hier zentral und peripher je eine Kanüle ein. Die zentrale Kanüle führt durch einen Gummischlauch zu einem Überlaufgefäß. Aus ihm fließt das Blut in einen Meßzylinder. Die periphere Kanüle wird mit einem Reservoir verbunden, in dem sich Ringerlösung befindet. Die Ringerlösung wird von einer Sauerstoffbombe aus mit Sauerstoff durchströmt. Wie man aus der Beschreibung ersieht, steht diese Methode prinzipiell zwischen der Stolnikow-Pawlowschen und der Tigerstedtschen (siehe Abschnitt B). Bohlmann (1907) hat mit ihr einige Bestimmungen ausgeführt. (Kritik siehe Referat von Tigerstedt in den „Ergebnissen" 1907 S. 274.)

Daß vielleicht das Prinzip der Pitotschen Röhren zur Bestimmung der Stromstärke in der Aorta verwendet werden kann, ist von mir gezeigt worden (siehe Kap. 19).

C. Indirekte Methoden zu Bestimmung des Schlagvolumens.

Im Jahre 1870 hat Fick eine Methode ausgedacht, um das Blutquantum, das von dem Herzen ausgeworfen wird, zu bestimmen. Die Methode kann sogar für den Menschen angewandt werden. Er schreibt folgendermaßen (S. 573):

„Bei dieser Sachlage ist es seltsam, daß man noch nicht auf folgenden naheliegenden Weg gekommen ist, auf dem diese wichtige Größe wenigstens an Tieren direkter Bestimmung zugänglich ist. Man bestimme, wieviel Sauerstoff ein Tier während einer gewissen Zeit aus der Luft aufnimmt und wieviel Kohlensäure es abgibt. Man nehme ferner dem Tier während der Versuchszeit eine Probe arteriellen und eine Probe venösen Blutes. In beiden ist der Sauerstoffgehalt und der Kohlensäuregehalt zu ermitteln. Die Differenz des Sauerstoffgehalts ergibt, wieviel Sauerstoff jedes Kubikzentimeter Blut beim Durchgang durch die Lungen aufnimmt, und da man weiß, wieviel Sauerstoff im ganzen während einer bestimmten Zeit aufgenommen wurde, so kann man berechnen, wieviel Kubikzentimeter Blut während dieser Zeit die Lungen passieren, oder wenn man durch die Anzahl der Herzschläge in dieser Zeit dividiert, wieviel Kubikzentimeter Blut mit jeder Systole des Herzens ausgeworfen wurde.

Die entsprechende Rechnung mit den Kohlensäuremengen gibt eine Bestimmung desselben Wertes, welche die erstere kontrolliert."

Nach dieser Methode sind von Gréhant und Quinquaud (1886), Zuntz (1892) und bei dem Menschen von Loewy und Schroeter (1905), ferner von Plesch (1909 S. 518) u. a. Bestimmungen des Schlagvolumens des Herzens bezw. des Sekundenvolumens in irgend einem Querschnitt der Gefäßbahn, z. B. Lungenkapillaren oder Aorta und Koronararterien gemacht worden. Plesch (1909) bestimmt bei dem Menschen den Sauerstoffgehalt des venösen Blutes dadurch, daß er die Luftsäcke der Lunge mit einem außerhalb befindlichen Gummisack durch ein Mundstück in Verbindung bringt, so daß das ganze ein geschlossenes System bildet. Durch die Respirationsbewegung wird die Luft in diesem System vollständig durchmischt und die Sauerstoffspannung in dem Raum wird gleich der alveolaren Luft, deren Sauerstoffspannung Plesch identisch setzt mit derjenigen des Blutes des rechten Herzens. Loewy und Schröter (1905) hatten zu dieser Bestimmung einen Lungenabschnitt von der Trachea aus katheterisiert, ähnlich wie das Pflüger bei dem Hund ausgeführt hat. Die Fehler der Pleschschen Methode werden von ihm selbst S. 488 diskutiert. Sie bestehen vor allen Dingen darin, daß es schwer ist, einen vollkommenen Ausgleich der Gasspannungen in kurzer Zeit zu erreichen, und daß auf der andern Seite der Versuch nicht zu lange dauern darf, jedenfalls nicht länger als die Kreislaufzeit beträgt, weil sonst das Blut erstickt. Daß die Fehler etwas vermindert werden, wenn der Gummisack vor dem Versuch mit reinem Stickstoff gefüllt wird, wird von Plesch gezeigt. Er braucht dann nur 15—25 Sekunden zu dauern. Die Luft in den Gummisäcken ist dann nach bekannten Methoden zu analysieren. Den Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes bestimmt Plesch mit der Ferrizyankaliummethode von Hüfner, Zeynek und Haldane in der Modifikation von Barcroft.

Das Prinzip, das Fick angewandt hat, läßt sich folgendermaßen verallgemeinern: Wird an einer Stelle der Blutbahn das Sekundenvolumen x, in welchem die Konzentration eines beliebigen Stoffes gleich a ist, vermischt mit einer Flüssigkeit, die das Volumen v und die Menge k desselben gelösten Stoffes in Lösung besitzt und erhält das Blut durch die Vermischung die Endkonzentration e dieses Stoffes, so berechnet sich das Sekundenvolumen nach der Formel

$$\frac{k + ax}{v + x} = e \text{ oder } x = \frac{k - ve}{a - e}.$$

Nach der von Fick vorgeschlagenen Methode ist der Stoff o entweder der Sauerstoff oder die Kohlensäure. Er wird zugeführt ohne Flüssigkeit, d. h. das Volumen v ist gleich o. Dann wird $x = \frac{k}{a - e}$.

Stewart (1897) hat nach einem weiteren Stoff gesucht, dessen Konzentration im Blute genau bestimmt werden konnte. Zucker konnte nicht verwendet werden, weil die Bestimmung eine zu lange Zeit erforderte. Er wählte Chlornatrium und bestimmte seine Konzentration im wesentlichen mit der Kohlrauschschen Methode der Widerstandsbestimmung für Elektrolyte. Die Ausführung des Versuches gestaltet sich ziemlich umständlich

S. 161). Die Tiere (Hunde) werden mit Morphium und der A.-C.-E.-Mischung narkotisiert, dann tracheotomiert. Die 1,5 % ige Salzlösung wird aus einer Bürette durch einen Katheter entweder in den rechten Vorhof oder in die Aorta (durch die Carotis) injiziert. In die Röhrenverbindung zu dem Katheter war ein Ventil zum Schutz gegen den Rückfluß des Blutes eingeschaltet. Eine kurze Kanüle war in eine passende Arterie, gewöhnlich in einen kleinen Muskelzweig der Femoralis, manchmal in die Femoralis selbst und gelegentlich in die Axillaris eingebunden. Die korrespondierende Hauptarterie der entgegengesetzten Seite war isoliert und auf ein paar hakenförmige große Platinelektroden, die auf der Rückseite mit Firnis überzogen waren, gelegt. Eine dünne Gummimembran war noch zwischen die Arterie und die Gewebe eingeschoben. Die Platinelektroden waren in der bekannten Weise in den Kohlrauschschen Apparat eingeschaltet. Wenn nach Ausgleichung der Widerstände das Telefon schweigt, wird eine gewisse Menge Blut entnommen und sofort einem Assistenten zum Defibrinieren übergeben. Dann läßt ein anderer Assistent auf ein Signal hin die Salzlösung innerhalb einer vorher verabredeten Zeit einfließen. Er bestimmt die eingeflossene Menge und die Zeitdauer der Injektion mit einer Sportsuhr genau. Sowie die Lösung die Elektroden erreicht, wird der Ton in dem Telefon lauter. Er erreicht sein Maximum gewöhnlich sehr rasch, behält seine Stärke während der Hauptzeit der Passage der Lösung und verhallt dann schnell. Am Anfang und Ende dieser Zeit gibt der Beobachter einem dritten Assistenten das Zeichen zum Beginn und zur Beendigung der Blutentnahme. Die Pulsfrequenz wird zu gleicher Zeit beobachtet und notiert. Nach einem gehörigen Zeitintervall wird derselbe Versuch nochmals wiederholt. Am Ende des Versuchs wird in allen Blutmengen der spezifische Widerstand durch die Telefonmethode bestimmt. Zu einer abgemessenen Menge der vor der Injektion entnommenen Blutproben wird angenähert eine solche Menge der Lösung hinzugefügt, daß ihr Widerstand nahezu dem Widerstand der nach der Injektion entnommenen Blutproben gleich ist. Die genaue Menge der Salzlösung, die eine solche Konzentration bedingt, wird dann leicht berechnet. Die Widerstandsbestimmungen werden auf die gleiche Temperatur reduziert auf Grund einer Reihe von Bestimmungen des Temperaturkoeffizienten.

Die Einwände gegen die Methode werden auf den Seiten 140—171 genau besprochen. Eine eingehende Untersuchung wird der v. Kriesschen Konstatierung (1887, siehe Kap. 54), daß der axiale Strom in den Gefäßen etwa doppelt so groß ist, wie der Mittelstrom, gewidmet. Wenn die Entnahme der Blutproben, so wie beschrieben, erfolgt, nämlich nur in der Zeit, während der Ton maximal ist, so wird durch diesen Umstand kein größerer Fehler bedingt (S. 168). Durch die Injektion von großen Quantitäten konzentrierter Salzlösungen wird eine gewisse Hydrämie hervorgerufen. Sie läßt sich vermeiden, wenn die Konzentration der Salzlösung nicht zu stark ist (S. 168—171). Stewart nimmt deshalb keinen Anstand, seine Resultate als annähernd richtig anzusehen.

Zuntz (1893) hat die von dem Herzen in der Zeiteinheit ausgeworfene Blutmenge als diejenige bemessen, die während eines durch Vagusreizung bewirkten Stillstandes in das Aortensystem eingeführt werden muß, um den Blutdruck auf der normalen Höhe zu halten. Der Apparat war so kon-

struiert, daß der Druck automatisch konstant erhalten wurde. (Vergl. Kap. 69, S. 372.)

Die Untersuchungen von Bohr und Henriques (1895) über das Sekundenvolumen des Koronarkreislaufs bespreche ich in dem Kapitel über den Koronarkreislauf (Kap. 37).

Barnard 1898. The functions of the pericardium. (Physiol. Soc.) Journ. of physiol. XXII, p. XLIII–XLVIII.

Blank 1905. Über Volumetrie des Herzens. Dissertation, Göttingen.

Bohlmann 1907. Das Schlagvolumen des Herzens und seine Beziehung zur Temperatur des Blutes. Pflügers Arch., Bd. 120, S. 400—404.

Bohr und Henriques 1895. Über die Blutmenge, welche den Herzmuskel durchströmt. (Physiol. Institut Kopenhagen.) Skand. Arch. f. Physiol., V, S. 232, 237.

Carter 1898. Über Plethysmographie des Herzens. (Physiol. Institut Bern.) Physiol. Ges. Berlin. Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 530—531.

Cavazzani 1893. Arch. ital. de biol., t. 19, p. 394.

Elving und v. Wendt 1907. Über die Blutströmung in der Aorta descendens thoracica beim Kaninchen. Skand. Arch. f. Physiol., Bd. 19, S. 96–118.

Fick 1870. Über die Messung des Blutquantums in den Herzventrikeln. Ges. Werke III, S. 573.

François Franck 1877. Trav. du lab. de Marey III, p. 316.

Gréhant et Quinquaud 1886. C. R. Soc. Biol., p. 159.

Haldane 1898. The ferricyanid method of determining the oxygen capacity of blood. Journ. of Physiol., XXII, p. 298.

Haldane and Barcroft 1902. A method of estimating the oxygen and carbonic acid in small quantities of blood. Journ. of physiol. XXVIII, S. 232.

Heitler 1903. Zentralbl. f. innere Med., Nr. 26.

Heitler, M., 1905. Über das Zusammenfallen von Volumveränderungen des Herzens mit Veränderungen des Pulses. (Ges. d. Ärzte, Wien.) Wiener klin. Wochenschr., Jahrg. 18, S. 648.

Henderson and Scarborough 1905. The volume curve of the mammalian ventricle. Amer. Journ. Physiol., Vol. 13, p. XXIV—XXV.

Henderson, Scarborough and Chillingworth 1906. The volume curve of the ventricles of the mammalian heart, and the significance of this curve in respect to the mechanics of the heart-beat and the filling of the ventricles. Amer. Journ. Physiol., Vol. 16, p. 325—367.

Hill and Barnard 1897. Brit. med. Journ.

Hoorweg 1897. Über die bei einer Systole gelieferte Blutmenge. Pflügers Arch., 66, S. 474.

Hüfner und v. Zeynek 1899. Neue Beobachtungen und Versuche über das Methämoglobin und seine Bindungsweise. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1899.

Johansson und Tigerstedt 1889. Gegenseitige Beziehungen des Herzens und der Gefäße. Skand. Arch. f. Physiol., I, S. 345.

Johansson und Tigerstedt 1891. Über die gegenseitigen Beziehungen des Herzens und der Gefäße. Skand. Arch. f. Physiol., II, S. 409.

Knoll 1880. Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. der Wissensch., Wien, 82, 3, S. 7.

Lohmann, A., 1907. Eine neue Methode zur direkten Bestimmung des Schlagvolumens des Herzens. Pflügers Arch., Bd. 118, S. 260—264.

Loewy und v. Schröter 1905. Untersuchungen über die Blutzirkulation beim Menschen. Zeitschr. f. exp. Pathol. u. Therap., Bd. 1.

Luciani 1871. Dell' attivita della diastole, Rivista clinica Bologna 1871, S. 1, 33, 73. 109, 201.

Müller, A., Deutsches Arch. f. klin. Med., Bd. 96.

Müller, A., 1908. Methode zur Bestimmung von Schlagvolumen und Herzarbeit und deren Ergebnisse. (25. Kongr. inn. Med., Wien.) Münch. med. Wochenschr., Jahrg. 55, S. 931.

Pawlow 1887. Über den Einfluß des Vagus auf die Arbeit der linken Herzkammer. (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 452—494.

Plesch 1909. Hämodynamische Studien. (Physiol. Institut v. Zuntz u. II. med. Klinik Berlin.) Zeitschr. f. exp. Pathol. u. Therap., VI, S. 380.

Rothberger 1907. Über eine Methode zur direkten Bestimmung der Herzarbeit im Tierexperiment. Pflügers Arch., 118, S. 353—374.

Roy and Adami 1892. Contributions to the physiology and pathology of the mammalian heart. Philos. Transact. Roy. Soc. CLXXXIII, p. 199.

Schreiber 1905. Über Volumetrie nicht isolierter Säugetierherzen. Verhandlg. d. Kongr. f. inn. Med., S. 443.

Stefani 1891. Cardiovolume, pressione pericardica e attivita della diastole. Mem. accad. med. chir. di Ferrara.

Stefani 1892. Cardiovolume, pression péricardiaque et activité de la diastole. Arch. ital. d. biol., XVIII, p. 119.

Stewart 1897. Researches on the circulation time and on the influence which affect it. Journ. of physiol., XXII, p. 159.

Stolnikow 1886. Die Eichung des Blutstromes in der Aorta des Hundes. (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 1—66.

Tigerstedt 1890. Über die Ernährung des Säugetierherzens. Skand. Arch. f. Physiol., II, S. 394.

Tigerstedt 1891. Studien über die Blutverteilung im Körper. 1. Abhandlg. Skand. Arch. f. Physiol., III, S. 145.

Tigerstedt 1907. Neue Untersuchungen über die von dem linken Herzen herausgetriebene Blutmenge. Skand. Arch. f. Physiol., 19, S. 1—45.

Vierordt 1858. Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. 1. Aufl., Berlin.

Volkmann 1850. Die Hämodynamik.

Zuntz 1892. Deutsche med. Wochenschr., S. 109.

Zuntz 1894. Eine neue Methode zur Messung der zirkulierenden Blutmenge und der Arbeit des Herzens. Vorl. Mittlg. (Tierphysiol. Laborat. d. landw. Hochschule Berlin.) Pflügers Arch., LV, S. 521—524.

Kapitel 45.

Die Geschwindigkeit des Blutes in den Gefässen.

A. Blutgeschwindigkeit in den Arterien.

Die Methoden zur Bestimmung der Blutströmung in den Arterien sind in Kapitel 19 des Teils I behandelt. Ich erwähne hier nur, daß es Rebatel (1872) gelungen ist, den Hämodromographen in die Koronararterie des Pferdes einzusetzen, während Chauveau (1860) und Lortet (1867) das Instrument in die Carotis einbanden. Die Stromuhr konnte in eine ganze Reihe von Arterien eingefügt werden. Abgesehen von der Carotis wurde sie von Tigerstedt und seinen Mitarbeitern in die Nierenarterie, in die Aorta ascendens und in die Aorta descendens (s. Kap. 44) eingesetzt. Tschuewsky (1903) band die Hürthlesche Stromuhr in die Femoralis und in die Thyreoidea ein und Jensen (1904) bestimmte die Stärke des durch das Gehirn fließenden Stromes mit der Hürthleschen Stromuhr.

B. Die Geschwindigkeit in den Kapillaren.

Die Geschwindigkeit der Blutströmung in den Kapillaren kann nur durch Beobachtung der Zeit, die ein Blutkörperchen braucht, um von einem Punkt zu einem anderen zu gelangen, bestimmt werden. Bei dem Malpighischen Verfahren (s. Kap. 56) der Beobachtung des Kreislaufs in durchsichtigen tierischen Organen mit dem Mikroskop, ist dies leicht möglich. Derartige Bestimmungen sind nach Tigerstedt, Lehrbuch des Kreislaufs, S. 422 von Hales (1748, S. 66), Weber (1838, S. 466), Valentin (1844, S. 469), Volkmann (1850, S. 184), Vierordt (1858) ausgeführt worden.

Vierordt hat weiter die Geschwindigkeit der Blutkörperchen in den Kapillaren der Netzhaut des Menschen subjektiv durch Beobachtung der entopischen Erscheinungen gemessen (1858, S. 42—48, 111).

Die auf diese Weise bestimmten Geschwindigkeiten sind, weil die Blutkörperchen auch mit ihrem dünnsten Querschnitt das Lumen der Kapillaren fast ausfüllen, nicht die maximalen, die in der Achse herrschen, sondern sie stehen näher der mittleren Geschwindigkeit der Strömung in den Kapillaren.

C. Blutströmung in den Venen.

Die Messung der Blutströmung in den Venen verfolgt keine anderen Zwecke, als sie bei der Messung der Strömung in den Arterien erstrebt werden. Es kann hierzu die Ludwigsche Stromuhr verwandt werden, für viele Fälle aber besser die Ausflußmethode. Die Änderung, welche die Blutgeschwindigkeit in den Venen für kürzere Intervalle erfährt, ist bis jetzt noch nicht gemessen worden.

a) Anwendung der Stromuhr. (S. Kap. 19.)

Von Cyon und Steinmann (1871) ist zuerst die Ludwigsche Stromuhr in eine Vene (jugularis oder cruralis) eingesetzt worden. Zuntz und Cohnstein (1884, S. 202 ff.) haben die Stromstärke in einer Vene oder Arterie des Nabelstrangs mit einer modifizierten Ludwigschen Stromuhr bestimmt.

Burton-Opitz (1902, 1903, 1907 und 1908) hat die Hürthlesche registrierende Stromuhr für die Messung des Blutstroms in der Vena jugularis externa, femoralis und anderen Venen des Hundes benutzt.

Julius Schmid (1907) konnte die Hürthlesche Stromuhr unter der Leitung von Hürthle in die Pfortader einsetzen. Das Verfahren gelingt nur bei der Katze oder bei dem Hunde, während bekanntlich eine auch nur kurze Abklemmung der Pfortader den Kreislauf des Kaninchens bedenklich schädigt. Die Operation wird von Schmid wie folgt beschrieben (S. 9 ff.):

„Vorbereitung zum Versuch am Hund.

Den Hauptpunkt und gleichzeitig die Hauptschwierigkeit in der Vorbereitung bildet die Präparation der Pfortader und das Einlegen der Stromuhrkanülen in dieselbe. Um letzteres ausführen zu können, ist es durchaus nötig, daß die Pfortader frei präpariert so daliegt, daß vertikal über den eingeführten Kanülen die Stromuhr angebracht werden kann. Wichtig ist

es daher, daß die Pfortader möglichst frei zugänglich außerhalb des Bereiches des rechten Rippenbogens liegt.

Eine durchgehende Regel für die Wahl der Größe des Hundes kann nicht aufgestellt werden, wir haben bei jeder Größe günstige und ungünstige Verhältnisse in der Lage der Pfortader vorgefunden. Wichtig ist vor allem, daß das Tier mager ist, wodurch die Präparation wesentlich erleichtert und beschleunigt wird. Der Thorax soll möglichst kurz und dabei breit sein; bei jungen Tieren ist dann noch die Beweglichkeit der Rippenbogen von Vorteil. Unter diesen Umständen liegt die Pfortader nur noch zum geringen Teil unter dem Rippenbogen und läßt sich beim Beiseiteheben der stark gelappten Leber und mit geringem Zug am rechten Rippenbogen wenigstens in begrenzter, aber hinreichender Ausdehnung präparieren. Bei Hunden mit langem, schmalem Thorax liegt dagegen die Pfortader vollständig unter dem Rippenbogen und ist dann, zumal sich unter diesen Umständen die Leberlappen viel weniger leicht abheben lassen, für unsere Zwecke nahezu unzugänglich. Die Atmungsexkursionen sind im ersteren Falle wegen der geringeren Zwerchfellwölbung viel weniger störend, als bei dem zuletzt beschriebenen Thoraxbau. Wir haben weiter bei der Verwendung von jüngeren Tieren einen wesentlichen Vorteil darin beobachtet, daß sich bei ihnen die Pfortader leichter aus der Gefäßscheide herausschälen läßt, während sie bei älteren häufig fest mit derselben verwachsen ist.

Beim Freilegen der Vene hält man sich durchaus an die Regel, stumpf zwischen Venenwand und Gefäßscheide vorzugehen. Das Operationsfeld ist so am übersichtlichsten, und die Hauptgefahr der Gefäßverletzung wird so eher umgangen. Die Vene selbst kann bei ihrer dünnen Wandung (0,02 bis 0,04 mm) sehr leicht verletzt werden, dann aber vor allem die nach Zahl und Lage variierende Menge teils grober, teils feinster Venen, welche wenigstens über die unteren $^2/_3$ des Pfortaderstammes verbreitet in diesen einmünden. Die Venen treten häufig von hinten her durch die Pfortader verdeckt in diese ein und werden daher, besonders etwa beim Präparieren außerhalb der Gefäßscheide, wo sie sich schlecht von der Umgebung abheben, sehr leicht angerissen. Ist einmal eine Blutung erfolgt — diese erfolgt von beiden Seiten her — so macht das Fassen des Gefäßes große Schwierigkeit, da es häufig in dem sofort unter Blut stehenden Operationsfeld nicht erkennbar ist. Wird eine solche Vene, zumal nahe ihrer Einmündungsstelle in die Pfortader, total durchgerissen, so ist in der Regel, wenn die Präparation nicht soweit gediehen ist, daß die Stromuhrkanülen eingelegt werden können, die Pfortader also schon jetzt abgeklemmt werden kann, auf ein Gelingen des Versuches nicht mehr zu hoffen. — Zum Einlegen der Stromuhrkanülen in die Pfortader ist zwar nur ein 2—3 cm langes Stück des Gefäßes nötig, doch ist es zur Orientierung über die einmündenden Gefäße, und um nachher genügend Platz zum Abklemmen der Vene nach oben und unten zu haben, zweckmäßig, diese in größerer, bezw. in möglichst großer Ausdehnung freizulegen. Die Präparation muß, entsprechend dem Versuchszweck, möglichst weit nach der Leber zu erfolgen, da ja die Kanülen möglichst oberhalb der wesentlichsten einmündenden Äste in die Pfortader eingelegt werden sollen. Aus ersichtlichem Grunde sollen eventl. noch in dem Bereich der peripheren Kanüle einmündende Venen nur im Notfall

unterbunden werden; dagegen müssen alle Gefäße, welche in ihrer Einmündung sicher in das zwischen den beiden Kanülen liegende Venenteil fallen, sorgfältig abgebunden werden. Läßt sich die Vene innerhalb des dann später abzuklemmenden Bereiches nicht vollständig zur Orientierung abheben, so mache man, um sich zu vergewissern, daß man beim Anschneiden der Pfortader keine Blutung bekommt, folgende Probe: Man verschließe die Pfortader nach dem Darm zu durch eine Klemme (wir verwendeten dazu wenig geriefte, kurze Klemmen), streiche ihren Inhalt nach der Leber zu aus und lege eine zweite Klemme gegen die Leber zu an; der zwischen beiden eingeschlossene Teil darf sich nun nicht wieder füllen. Im Bereich dieses Teiles wird je ein Faden oben und unten um die Pfortader gelegt, bereits geknotet, zum späteren Festbinden der Kanülen.

Ist alles zum Einlegen der Kanülen bereit, so wird die Pfortader nach oben und unten mit schwach gerieften Klemmen abgeklemmt. In der Mitte zwischen diesen Klemmen haben wir bei den ersten Versuchen die Vene unterbunden und nun ober- und unterhalb einen kleinen Querschnitt in die Vene gemacht; es ist jedoch zweckmäßig, ohne vorheriges Abbinden einen Längsschnitt in die Vene zu führen, um von dieser eine Öffnung aus beiden Kanülen einzulegen. Um weiter Platz zu sparen und um das Hantieren mit den Kanülen zu erleichtern, haben wir Kanülen benutzt, welche unter ganz stumpfem Winkel und kurz abgebogen sind und eine starke Fadenriefe besitzen. Stromaufwärts kommt die Kanüle mit seitlicher Abzweigung zur Messung des Blutdruckes in die Pfortader zu liegen. Im Gegensatz zur Handhabung bei früheren Stromuhrversuchen am Institut wurden jetzt die Kanülen, mit kurzen Schläuchen armiert, mit warmer Ringerlösung gefüllt, in die Venenöffnung eingeführt, festgebunden, und erst dann mit der Stromuhr verbunden. Zum raschen Einführen der Kanülen benutzten wir zuletzt eine stumpfwinklig abgebogene Zange, in deren ausgerundete Branchen gerade eine Kanüle paßt; bei ihrem Gebrauch ist das Festbinden der Kanülen leichter, während sonst zu viele Hände gleichzeitig im Abdomen tätig sind und dies erschweren. Sobald die Kanülen mit der Stromuhr in Verbindung sind, werden die Klemmen an der Vene gelöst und die Stromuhr in Gang gesetzt, um in erster Linie die Absperrungszeit der Pfortader auf ein Minimum abzukürzen.

Bemerkungen zu den Pfortaderversuchen bei der Katze.

Die topographischen Verhältnisse der Pfortader sind bei der Katze, wie oben erwähnt, wesentlich günstiger als beim Hunde. Bei dieser ist der ganze Pfortaderstamm, bei leichtem Abheben der Lederlappen und des rechten Rippenbogens, bis zu seiner Verzweigung in der Leberpforte ohne weiteres der Präparation zugänglich. Der Stamm ist allerdings so kurz, daß die Kanülen nur gerade eben Platz finden. Sehr günstig ist aber in der Regel die Lage der einmündenden Gefäße. Sie münden nahe einander an der Bildungsstelle des Stammes der Pfortader in diese ein und sind nicht wie beim Hund über eine Teilstrecke des Stammes verteilt. Dieser Umstand gestattet es, daß wir an der Katze für gewöhnlich, bei nicht abnormen Gefäßverhältnissen, das Blut sämtlicher, die Pfortader bildenden Venen durch die Stromuhr messen können.

Die Präparation der Pfortader bietet bei der Katze keine besonderen Schwierigkeiten gegenüber der beim Hunde. Bezüglich des Einlegens der Stromuhrkanülen ist als abweichend nur anzuführen, daß die Klemmen wegen der Kürze der Pfortader nicht an diese selbst, sondern an ihre Anfangs- und Endäste angelegt werden müssen. — Verwendet wurde die mittlere Stromuhr (von 13 ccm Inhalt).

Die Tiere wurden ebenfalls wie die Hunde aus demselben Prinzip einige Tage vor dem Versuch mit Milch und Fleisch gefüttert. Für die Narkose bestehen bei der Katze, wo es sich darum handelt, das Tier möglichst langdauernd in tiefem Schlaf zu halten, bekanntermaßen Schwierigkeiten. Bei einigen Versuchen wurde Uretan angewandt (1 g pro kg Tier per os). Besseren Erfolg hatten wir mit Paraldehyd, in einer Dosierung von 1,5 g pro kg Körpergewicht, mit 40—50 ccm Wasser gemischt per os eingegeben. In der Regel bekamen die Tiere vorher zum Aufbinden etwas Äther, und dieser wurde dann auch später, wenn nötig, wieder zeitweise angewandt."

Krogh (1907) mißt die Stromstärke in der linken Pulmonalvene von Testudo graeca dadurch, daß er in die Vene nach beiden Richtungen Kanüle einlegt, einige Sekunden lang den Abfluß zum Herzen versperrt und das Blut durch eine eingeteilte Röhre von geeigneter Weite fließen läßt, in welcher der Druck konstant gleich dem Venendruck erhalten wird. Den Tieren wird Hirudin eingespritzt. Er konstatiert u. a., daß nach Durchschneidung des linken Vagosympathikus die Blutgeschwindigkeit stark ansteigt.

b) Beobachtung des Blutausflusses aus einer Vene.

Um die Blutströmung durch ein Organ unter verschiedenen Umständen, besonders bei der Reizung der Gefäßnerven, festzustellen, hat man vielfach das Blut aus einer großen Vene ausfließen lassen und das Sekundenvolumen durch Meßapparate festgestellt. Bei der Anwendung dieser zuerst von Eckhard (1863 und 1867) benutzten Methode muß man vor allen Dingen darauf achten, daß keine Versuchsfehler durch Veränderung des Widerstands entstehen, sei es durch ein Zusammenfallen der Venen oder besonders durch die leicht eintretende Gerinnung des Blutes. Stören diese Umstände nicht, so hat diese Methode den Vorteil, daß der Druck in dem venösen Ende der Gefäßbahnen des Organs konstant bleibt. Stellt man zugleich manometrisch den Druck in den arteriellen, zuführenden Gefäßen fest, so kann man, wenn auch dieser Druk konstant bleibt, aus einer Veränderung der Stromstärke auf eine Veränderung des Widerstandes in der Strombahn, bezw. auf eine vasomotorische Reaktion schließen. Die Methode ist also mindestens ebenso wertvoll für derartige Schlüsse, wie die Plethysmographie.

Das aus der Venenkanüle ausfließende Sekundenvolumen wurde in verschiedener Weise gemessen oder registriert. Die einzelnen, bis jetzt angewandten Modifikationen der Methode sind folgende:

Sadler (1869, S. 191) „benutzte als Maß für die Strömung des Blutes durch den Muskel die Blutmenge, welche in der Zeiteinheit aus der Vene eines Muskels ausfloß". Er ließ das Blut aus seiner in die Vene eingesetzten Kanüle, die nach Bedarf durch einen Strom von Natriumkarbonat gereinigt werden konnte (siehe Kap. 12), frei in einen Meßzylinder ausfließen.

Eine eigentümliche Vorrichtung zur Messung des Blutausflusses benutzte Slaviansky (1873). Sie war so eingerichtet, daß das venöse Blut gegen einen ungefähr gleichbleibenden Druck ausströmte, daß diese Ausströmungsgeschwindigkeit registriert und daß das Blut nach der Messung wieder in die Gefäßbahn zurückgebracht werden konnte. Die Vorrichtung wird folgendermaßen beschrieben (S. 667—670):

„Um die genannte Vene kurz vor ihrem Eintritt in das Herz zugängig zu machen, schritt man zur Eröffnung der Brusthöhle, die auf bekannte Weise längs des Brustbeines geschah. War dieses unter sorgfältiger Vermeidung der Blutung geschehen, so wurde die rechte vena jugularis bloßgelegt, nach oben hin unterbunden, nach unten mit einer Klemme verschlossen und in der Mitte zwischen beiden Schlußstellen eröffnet. Alsbald wurde auch mit einer gekrümmten, stumpfen, gestielten Nadel eine starke und lange Seidenschnur nahe am Herzen an die vena cava inferior geführt. War diese an ihre Stelle gebracht, so schob man eine entsprechend weite, unten und oben offene Metallröhre in die Wunde der vena jugularis und band die Wand der letzteren auf der Röhre fest. Darauf wurde eine 1 % ige Kochsalzlösung in die Röhre gefüllt, so daß auch keine Spur von Luft in ihr zurückblieb, und hierauf das freie Ende der Röhre mit einer Klemme verschlossen, die auf dem Kautschukröhrchen steckte, welches sich am äußeren Ende der Metallröhre befand. Sollte nach diesen Vorbereitungen zu einer Blutentleerung geschritten werden, so eröffnete man die Klemme, welche unterhalb des Metallrohrs an der vena jugularis saß, und schob dieses in der Vene durch den rechten Vorhof hindurch vorwärts, bis sein unteres Ende jenseits der Schnur angelangt war, welche die vena inferior umgab. Da die Enden dieser letzteren durch einen langen Ligaturstab aus Hartgummi hindurchgezogen waren, so konnte man die vena cava inferior auf dem Metallrohre kurz über seiner unteren Mündung festbinden, so daß sich alles Blut, welches in dasselbe von unten her eindrang, mit Umgehung des Herzens nach außen entleeren konnte. — Um die Geschwindigkeit zu messen, mit welcher sich das Blut durch das Metallrohr ergoß, diente ein Apparat

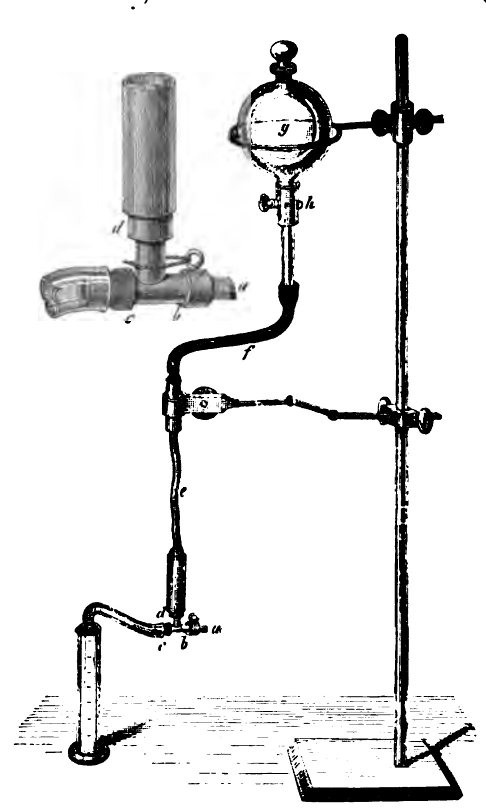


Fig. 45.
Kanüle und Apparat für den Venenstrom nach Sadler.

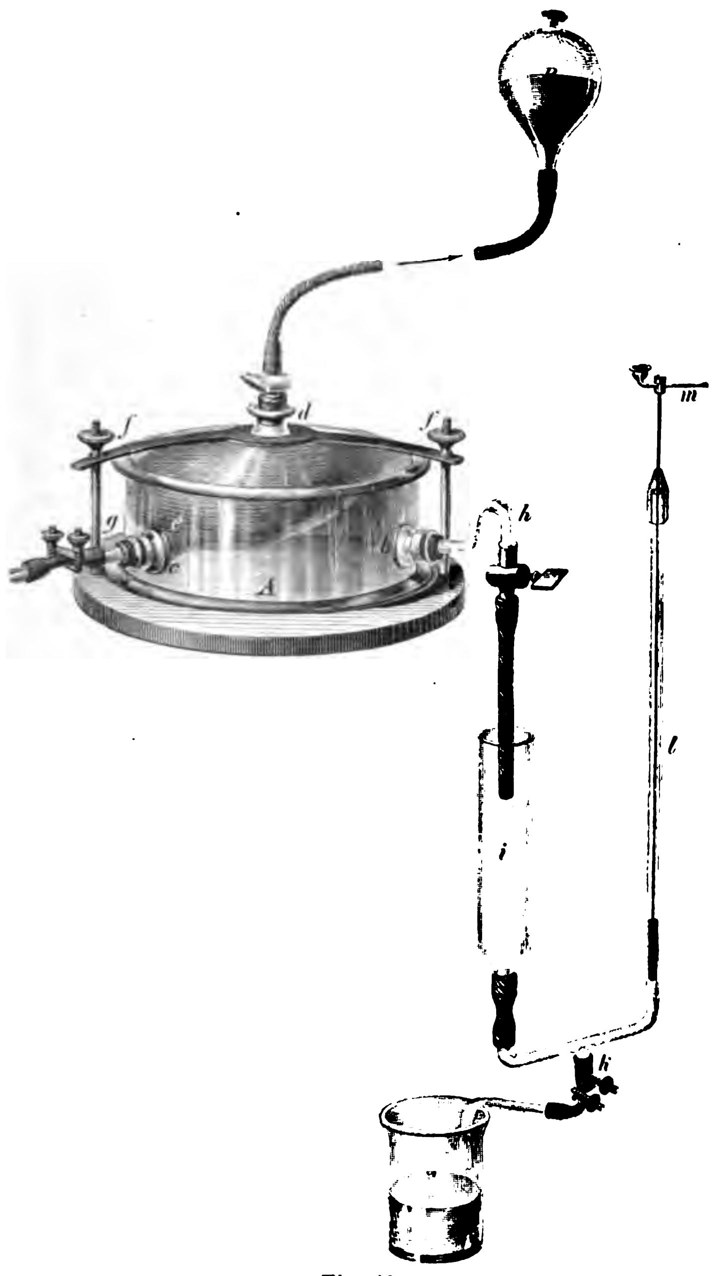


Fig. 46.
Bestimmung des Blutausflusses aus einer Vene nach Slaviansky.

welchen der umstehende Holzschnitt versinnlicht. Es bestand dieser aus dem Glasgefäß A, welches an seinem Körper die beiden Tubulaturen b und c, an

seinem Deckel aber die Tubulatur d trug. Der Deckel war luftdicht eingesetzt und durch die Spange ff in seiner Lage festgehalten. Im Innern des Glasgefäßes lag ein großer Beutel e, der aus weichem, rotem Gummi gemacht und mit einem Hals versehen war, welcher auf einem Glasrohre g steckte, das durch die Tubulatur c nach außen ging. In dieser saßen Glasrohr und Beutel ebenfalls luftdicht. Mit dem freien Ende des Glasrohres war der Kautschuk in Verbindung zu setzen, welcher sich am freien Ende der Metallröhre befand, die aus der vena jugularis hervorging. In die Tubulatur b war das Glasrohr h eingesetzt, welches mit einem weiten Hahne zu versehen war. Unterhalb dieses lief das Glasrohr in einen weiten Kautschukschlauch aus. Die Tubulatur des Deckels d nahm ebenfalls ein Glasrohr auf, in welchem sich ein Glashahn befand. Jenseit dieses erhob sich ein Kautschukschlauch, welcher in ein Glasgefäß B mündete, das etwa 0,75 m hoch über dem Glasgefäß A in einem Stative ruhte. Vor dem Gebrauche war aus dem Beutel e alle Luft ausgesaugt, das Glasgefäß A dagegen vollkommen mit Wasser angefüllt worden. Die Absicht, welche mit dieser Abteilung des Apparates erreicht werden sollte, ist leicht zu verstehen. Wenn die Klemme bei g und der Hahn bei h geöffnet, der bei d dagegen verschlossen war, so konnte das Blut ohne allen Widerstand in den Beutel e überfließen. In dem Maße, in welchem sich derselbe füllte, entzog das Rohr h dem Gefäße A Wasser, welches aus dem nach unten gerichteten Kautschukrohre abfloß. Wollte man die Entleerung des Blutes unterbrechen, so brauchte man nur den Hahn h zu schließen. Wenn dieses vollbracht war, so konnte man auch das Blut aus dem Beutel e sogleich wieder in die Vene zurückführen, und zwar dadurch, daß man den Hahn bei d öffnete, wodurch die Entleerung unter dem Drucke des Gefäßes B geschah. — Als Maß für die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Beutel e aus dem Blute der Vene füllte, diente das Wassermanometer ikl, welches durch die Glasfeder m seinen Wasserstand auf einen mit bekannter Geschwindigkeit vorübergeführten Papierstreifen aufschrieb. Da der weite und enge Schenkel i und l des Manometers kalibriert waren, so ließ sich aus der Erhebung der Feder ableiten, wieviel Wasser in einer gegebenen Zeit durch den Hahn h des Glasgefäßes A in den weiten Schenkel des Manometers i übergetreten war. Um das Manometer rasch entleeren zu können, trug sein horizontaler Schenkel k ein abwärts gerichtetes Röhrchen, welches durch Kautschuk und eine Klemme geöffnet und geschlossen werden konnte."

Eine ähnliche Vorrichtung wie Slaviansky hatte schon vorher (1872) v. Tappeiner benutzt, um die Ausflußgeschwindigkeit des Blutes aus der Carotis zu registrieren. Durch diese Methode sollte der Einfluß einer Blutentnahme, bezw. der Schnelligkeit der Blutentnahme auf den Blutdruck festgestellt werden.

Ähnlich wie durch v. Tappeiner die aus der Carotis hervorströmende Blutmenge wurde von Gaskell (1876 und 1878) die aus einer Muskelvene abströmende Blutmenge registriert. Er ließ das Blut aus einer modifizierten Sadlerschen Kanüle ausströmen, die aus zwei Teilen gebildet war. Ihre Konstruktion geht ohne weiteres aus der Figur 48 hervor. Den Registrierapparat (s. Fig. 47 und 48) beschreibt Gaskell (1876, S. 88) folgendermaßen:

„Wenn die aus der Streckervene hervorgehende Blutmenge gemessen werden sollte, so war der Hahn bei c geschlossen, die Schleife S II unter-

halb der Streckervene geöffnet und die oberhalb derselben gelegene S I zugezogen. Das hervorquellende Blut nahm jetzt seinen Weg durch den Kanülenschenkel e und gelangte von da aus in die mit einer Lösung von kohlensaurem Natron gefüllte Flasche f. Das in diese Vorlage einfließende Blut verdrängte einen entsprechenden Anteil ihres Inhaltes, welcher sich

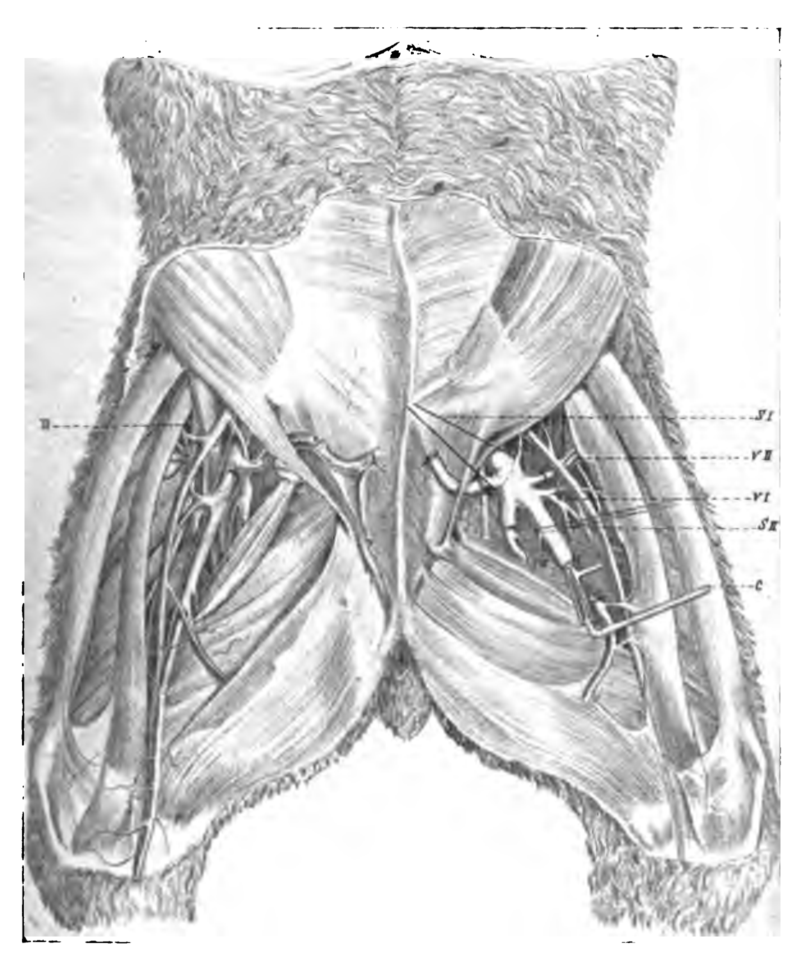


Fig. 47.
Einbindung der Venenkanüle nach Gaskell.

durch die Kautschukröhre g gegen das gläserne Winkelrohr h hinbegibt. Aus der nach unten gerichteten Mündung desselben, die um einige Millimeter unterhalb des Niveaus der Vene stand, ergoß sich die Flüssigkeit in den weiteren Schenkel des U-förmigen Rohres ikl und hob den Schwimmer empor, welcher in dem engen Rohre l flottierte. Dieser Schwimmer notierte dann in bekannter Weise seinen veränderlichen Stand auf den mit bekannter

Geschwindigkeit vor seiner Feder vorübergehenden Papierstreifen. Um diesen Apparat dem Volum des Blutflusses anzupassen, wurden zwei Röhren i und m von verschiedenem Durchmesser an das dem Tiere zugewendete Ende des U-förmigen Apparates angebracht, von denen jede nach Belieben von ihrer Verbindung mit dem engen Rohre abgeschlossen werden konnte. Bei kleineren Hunden wurde von Anfang an das Blut in die enge Röhre i geführt. Bei ihrer Verwendung entsprach einem Emporsteigen des Schwimmers um 1 mm ein Volum von 0.35 ccm. Bei größeren Tieren kam im Beginn des Versuchs der Röhrenschenkel m in Verwendung; bei ihm entsprach das Aufsteigen des Schwimmers um 1 mm 0.52 ccm Flüssigkeit. Hatte das größere Tier im Fortgang des Versuches einen reichlichen Blutverlust erfahren, so wurde statt des weiten der enge Zylinder verwendet. Um die Maßgefäße rasch von ihrem Inhalte befreien zu können, war an dem horizontalen Schenkel des U-Rohrs der durch eine Klemme verschließbare Ausfluß n angebracht. Hat sich im Fortgange des Versuchs dem Inhalte der vorgelegten Flasche so viel Blut beigemengt, daß die Entstehung von Gerinnseln zu fürchten ist, so muß ihr kohlensaures Natron erneuert werden, was wegen ihres Verschlusses mit einem Gummistopfen bequem zu bewirken ist.

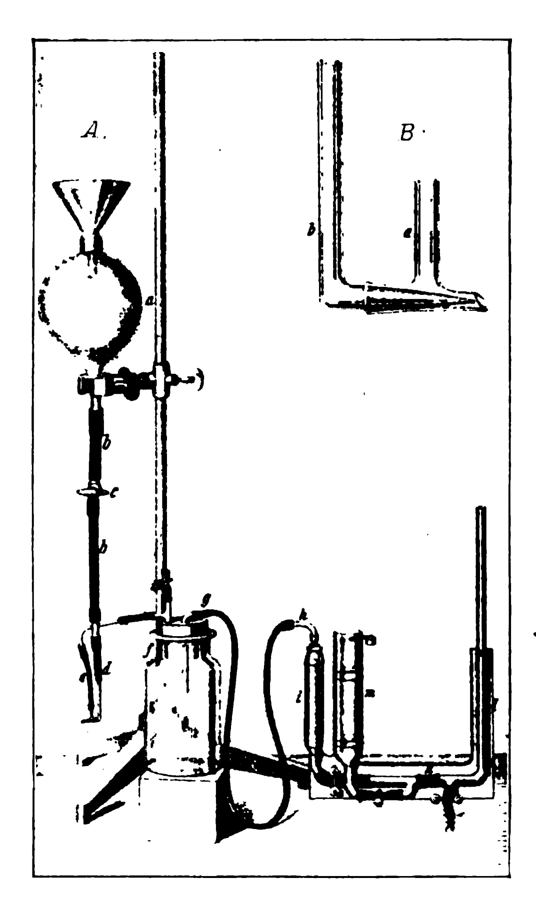


Fig. 48.
Apparat nach Gaskell zur Messung des Ausflusses aus der Vene.

Mit dem beschriebenen Verfahren wird nun allerdings die ausfließende Menge genau gefunden werden, aber die zeitliche Übereinstimmung zwischen dem Ausfluß aus der Vene und dem Ansteigen in dem die Feder tragenden Röhrenschenkel wird sich wegen des zwischen beiden eingeschalteten Kautschuks nicht genau entsprechen. Dieses bemerke ich mehr deshalb, um mir den Vorwurf eines Versehens zu ersparen, als darum, weil ich glaubte, daß aus einem so geringen Abweichen der zeitlichen Übereinstimmung ein merklicher Fehler des Versuchs entstanden sei."

Mit einer ganz ähnlichen Methode hat v. Frey (1876, S. 92) die Blutmenge bestimmt, die aus einer Vene der Submaxillardrüse ausfließt. „Um alle Vorteile des Gaskellschen Verfahrens zu genießen, wurde die Kanüle

in einen Ast der Venengabel eingesetzt, welche bekanntlich die Submaxillardrüse umgreift." (Vergl. Kap. 69, S. 367.)

Zur zeitweiligen Abklemmung der Venen empfiehlt Gaskell (1877) eine besondere Klemme mit abgerundeten Armen (S. 265). Die Versuche wurden durch Gerinnung nicht gestört.

Pick (1899, S. 402) läßt das Blut aus der Vene in eine graduierte Röhre ausfließen und beobachtet mit der Sportsuhr die Zeit, die das Blut braucht, bis es zu einer bestimmten Marke angestiegen ist. Über seine Methode, das Blut ungerinnbar zu machen, siehe Teil III.

Barcroft and Brodie (1905, S. 21) messen die Geschwindigkeit des Blutausflusses aus der Niere dadurch, daß sie in die untere Hohlvene eine Kanüle einführen und diese Kanüle mit einer graduierten Röhre von etwa 10 ccm Fassungsvermögen zwischen den beiden Marken verbinden. Die untere Hohlvene wird oberhalb des Abgangs der Nierenvenen während einer Beobachtung temporär unterbunden. Vorher ist eine totale Eviszeration vorgenommen worden (S. 19), welche die Hunde etwa 8 Stunden überleben. (Vergl. Kap. 69, S. 372.)

Eine recht bequeme Methode zur Bestimmung bezw. zur Registrierung der Ausflußgeschwindigkeit besteht in der Zählung der aus der Vene ausfließenden Tropfen. Die Registrierung der Tropfgeschwindigkeit kann dadurch erfolgen, daß man die Tropfen auf die Senderkapsel einer Lufttransmission fallen läßt. Die Registrierkapsel gibt dann jedesmal einen Ausschlag, wenn ein Tropfen auffällt. So kann die Zahl der Tropfen in der Zeiteinheit festgestellt werden. Diese Methode ist anscheinend von Marey zuerst (La méthode graphique S. 163 hier auch Abbildung) angegeben und u. a. von Gärtner und Wagner (1887) und von Biedl (1897) angewendet worden, von dem letzteren zur Bestimmung der Blutströmung durch die Nebennieren. Der Nebennierenkreislauf wurde in ähnlicher Weise, wie dies von Slaviansky geschehen war, durch die untere Hohlvene geleitet, und alle hier einmündenden Gefäße während des eigentlichen Versuches abgesperrt. Ich gebe hier die Beschreibung des Verfahrens mit den Worten Biedls wieder (S. 444):

„Die ganze Versuchstechnik gestaltet sich folgendermaßen. An dem kurarisierten Tiere wird das Abdomen in der Mittellinie eröffnet und die vena cava einerseits unterhalb der venae renales unterbunden, andererseits oberhalb der Einmündung der venae suprarenales um dieselbe ein starker Bindfaden mit Ligaturstäbchen gelegt. An dem zwischen den beiden Fäden gelegenen Abschnitte der Hohlvene werden nun alle Äste, mit Ausnahme der Nebennierenvenen, unterbunden. Diese letzteren münden beim Hunde in den meisten Fällen beiderseits direkt in die Cava. Es kommen allerdings auch eine Reihe von anatomischen Varietäten vor. Manchmal vereinigt sich eine, sehr selten auch beide venae suprarenales mit den korrespondierenden venae renales, ehe dieselbe die Hohlvene erreicht; relativ häufig mündet eine (zumeist die linke) vena suprarenalis in dem Winkel zwischen Cava und Renalis. In allen diesen Fällen durften selbstverständlich die venae renales nicht knapp an der Hohlvene abgebunden werden. Mit Rücksicht hierauf, und auch um eine passive, mit großer Blutansammlung einhergehende Hyperämie der Nieren zu vermeiden, habe ich es vorgezogen,

jedesmal beide Nieren aus dem Kreislaufe vollkommen auszuschalten, indem ich etwa $1^1/_2$—2 cm vor dem Hilus sämtliche Gefäße derselben unterbunden habe.

Nach Ausführung der beschriebenen Ligaturen erhielt das Zwischenstück der Hohlvene das Blut ausschließlich aus den Nebennieren, wovon ich mich nachträglich bei der Sektion jedesmal überzeugt habe. Während dieses

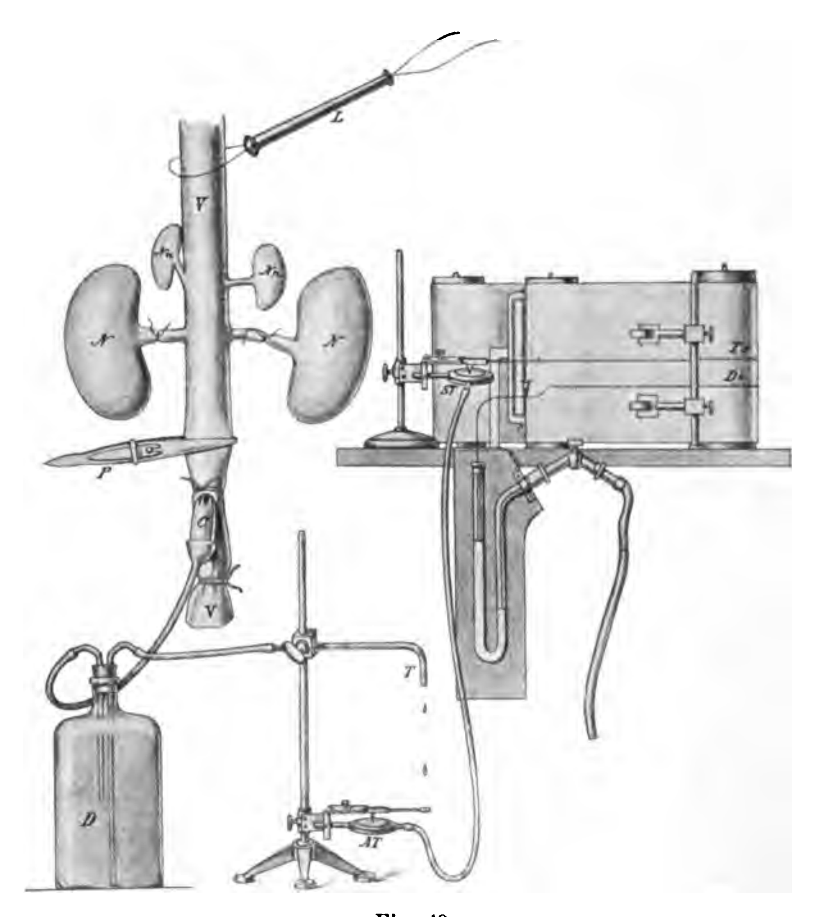


Fig. 49.
Bestimmung des Blutausflusses aus den Nebennieren nach Biedl.

Blut vorläufig ungehindert dem rechten Herzen zuströmt, wird am unteren Abschnitte des Zwischenstückes der Hohlvene, einige Zentimeter oberhalb der unteren Ligatur, eine Klemmpinzette angelegt und in die Vene eine Kanüle eingeführt. Die Kanüle steht mit einer Druckflasche, und diese mit einem frei mündenden Knieröhrchen, dessen Ausflußöffnung höher oder tiefer gestellt werden kann, in Verbindung. Die Kanüle, und von da ab das ganze System, ist zur Vermeidung der Gerinnung mit konzentriertem schwefel-

saurem Natron gefüllt. Sollte der Versuch begonnen werden, dann wurde die Hohlvene durch Zuziehung des oberen Bindfadens mittels des Ligaturstäbchens oben gesperrt, die Klemmpinzette unten entfernt, und nun floß das Nebennierenblut in die Kanüle und mußte Tropfen auf Tropfen aus dem Drukgefäße austreiben. War die Ausströmungsgeschwindigkeit sehr groß, so konnte sie durch Höherstellen der Ausflußöffnung beliebig vermindert, bezw. abgeändert werden. Die Tropfen wurden entweder pro 10 Sekunden direkt gezählt, oder ihre Zahl mit Hilfe von zwei Mareyschen Trommeln auf dem Kymographion graphisch registriert."

Gottlieb und Magnus (1901, S. 140) registrierten die aus einer Vene ausfließende Zahl der Tropfen in ähnlicher Weise wie Gärtner und Wagner und Biedl dadurch, daß sie die Tropfen auf den zu einer Schaufel verwandelten Hebel einer Mareyschen Kapsel fallen ließen, und diese Kapsel in der gewöhnlichen Weise mit einer Registrierkapsel verbanden.

Embley und Martin (1905) leiteten Blut durch die Gefäße isolierter Nieren oder Darmstücke unter konstantem Druck und bestimmten die Durchströmungsgeschwindigkeit durch die Tropfmethode. Das aus der Vene ausfließende Blut tropfte auf eine Gänsefeder, die als Hebel der Senderkapsel diente:

„An ordinary goose feather is an excellent thing for this purpose; as it is not soiled by blood, there is no accumulation, but each drop bounces off into the receiver like 'water off a duck's back'."

Eine eigentümliche Methode bildete Brodie aus (Brodie und Russell, 1905). Er bestimmt die Volumzunahme auf onkometrischem Wege, die ein Organ bei kurz andauernder Kompression der ausführenden Vene erfährt. Je größer die Durchströmungsgeschwindigkeit ist, desto schneller steigt der Hebel des Pistonrekorders oder des Bellows-Rekorders an. Von mir ist eine ähnliche Methode zur Bestimmung der Gallenströmung angewendet worden. Die Messung vollzieht sich in kurzer Zeit. Dann kann die Blutströmung wieder freigegeben werden.

Barcroft and Brodie 1905. The gaseous metabolism of the kidney. Journ. of Physiol., XXXII, p. 21.

Biedl 1897. Beiträge zur Physiologie der Nebenniere. I. Mitteilung. Die Innervation der Nebenniere. Pflügers Arch., LXVII, S. 443.

Brodie and Russel 1905. On the determination of the rate of blood-flow through an organ. Journ. of Physiol. London. Vol. 32, p. XLVII—XLIX.

Brodie 1907. The determination of the rate of blood flow through an organ. Arch. internat. d. physiol., 5, S. 175.

Burton-Opitz 1902. The flow of the blood in the external jugular vein. Amer. journ. of physiol., 7, p. 435.

Burton-Opitz 1903. Muscular contraction and the venous blood flow. Amer. journ. of physiol., 9, p. 161.

Burton-Opitz 1906. Vorzeigen einer neuen Stromuhr. Verhandl. d. soc. for exper. biology and medicine. New York. Physiol. Zentralbl., S. 797.

Burton-Opitz 1907. Über die Vasomotoren des Lungenkreislaufes. Zentralbl. f. Physiol., 21, S. 95.

Burton-Opitz 1907. Das Verhalten der Venenklappen und des Venenstromes bei Variationen des Intraabdominaldruckes. Zentralbl. f. Physiol., 21, S. 95.

Burton-Opitz 1908. Eine Stromuhr für die Messung der Blutvolumina der Venen. Pflügers Arch., Bd. 121, S. 150.

Burton-Opitz und Lucas 1908. Über die Blutversorgung der Niere. I., Pflügers Arch., 123, S. 553.
Cohnstein und Zuntz 1884. S. Kap. 19.
Cyon und Steinmann 1871. Die Bestimmung des Blutstroms in den Venen. Bull. de l'acad. impérial de St. Petersb., VIII, S. 55.
Eckhard 1863. Beiträge zur Anatomie und Physiologie, III, S. 125. 1867, IV, S. 69.
Embley and Martin 1905. The action of anaesthetic quantities of chloroform upon the blood vessels of the bowel and kidney; with an account of an artificial circulation apparatus. Journ. of physiol., Vol. 32, p. 147.
v. Frey 1877. Über die Wirkungsweise der erschlaffenden Gefäßnerven. Arbeiten der physiol. Anstalt zu Leipzig 1876, S. 89.
Gärtner und Wagner 1887. Über den Hirnkreislauf. Wien. med. Wochenschr., 37, S. 601, 637.
Gaskell 1876. Über die Änderungen des Blutstroms in den Muskeln durch die Reizung ihrer Nerven. Arbeit. d. physiol. Inst. in Leipzig, S. 45.
Gaskell 1877. Further researches on the vasomotor nerves of ordinary muscles. Journ. of physiol., I, S. 262.
Gottlieb und Magnus 1901. Über die Gefäßwirkung der Körper der Digitalisgruppe. Arch. f. exp. Path. u. Pharm., 47, S. 135.
Krogh 1907. Über vasomotorische Nerven der Lungen. Zentralbl. f. Physiol., 20, S. 8. 802.
Hales 1748. Statik des Geblüts. Halle 1748, S. 66.
Jensen 1904. Über die Blutversorgung des Gehirns. Pflügers Arch. 103. S. 171.
Pick 1899. Über Beeinflussung der ausströmenden Blutmenge durch die Gefäßweite ändernde Mittel. Arch. f. exp. Pathol., XLII, S. 399—452.
Sadler 1869. Über den Blutstrom in den ruhenden, verkürzten und ermüdeten Muskeln des lebenden Tieres. Ber. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss., S. 189.
Schmid 1907. Der Blutstrom in der Pfortader unter normalen Verhältnissen und bei experimenteller Beeinflussung. Habilitationsschrift, Breslau.
Slavjanski 1874. Über die Abhängigkeit der mittleren Strömung von dem Erregungsgrade der sympathischen Gefäßnerven. Ber. d. sächs. Akad., 1873, S. 665—694.
v. Tappeiner 1872. Über den Zustand des Blutstroms nach Unterbindung der Pfortader. Ber. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss., 1872, S. 193.
Valentin 1844. Lehrbuch d. Physiologie 1, S. 469.
Vierordt 1858. Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. 1. Aufl., Berlin, S. 42—48, 111.
Volkmann 1850. Die Hämodynamik, S. 184.
Weber, E. H., 1838, Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 466 ff.

Kapitel 46.

Plethysmographie und Onkographie.

In dem vorliegenden Kapitel bespreche ich zunächst die Methoden der Plethysmographie, d. h. die Verfahren, durch die ein Aufschluß über die im wesentlichen durch Zirkulationsänderungen hervorgebrachten Volumschwankungen der Extremitäten und der Organe gewonnen werden soll. Man hat aus diesen Schwankungen verschiedene Schlüsse gezogen. Von Fick sind die pulsatorischen Schwankungen, die „Volumpulse" nach v. Kries (1887, siehe nächstes Kap.) zur Ermittlung der Geschwindigkeitskurve verwendet worden. Die Prinzipien dieses Verfahrens werden in dem nächsten Kapitel besprochen. Vorzugsweise hat man nach dem Vorgang von Mosso aber

mit der Plethysmographie die Zustände der Gefäßmuskulatur zu erforschen gesucht. Man kann in der Tat aus einer Erweiterung eines Organs auf eine aktive Erweiterung der Gefäße dann schließen, wenn der arterielle Druck unverändert bleibt oder gar sinkt, oder umgekehrt. Vorausgesetzt ist natürlich, daß sich an den Venen und an dem Lymphgehalt der Organe nichts ändert. Eine Kritik dieser Schlußweise gibt u. a. Ballantyne (1899).

Mit der Plethysmographie wurden im Anfang nur die Volumschwankungen der Extremitäten aufgeschrieben; diese Verfahren werden in Abschnitt A behandelt. Von Roy ist die Plethysmographie zuerst zur Registrierung der Volumschwankungen von inneren Organen, der Niere, der Milz usw. benutzt und hierfür als „Onkographie" bezeichnet worden. Sie wird unter Abschnitt B beschrieben. Die Onkographie des Herzens ist in Kapitel 44 behandelt. François Franck hat für die Plethysmographie von Organen, bei denen sie sich nur schwer durchführen läßt, eine Ersatzmethode ausgebildet (siehe Abschnitt C). Einige andere Autoren haben versucht, aus Druckmessungen und anderen Daten Rückschlüsse auf den Zustand der Gefäße zu ziehen, worüber in Kapitel 69 „Gefäßnerven" das Nötige zu finden ist.

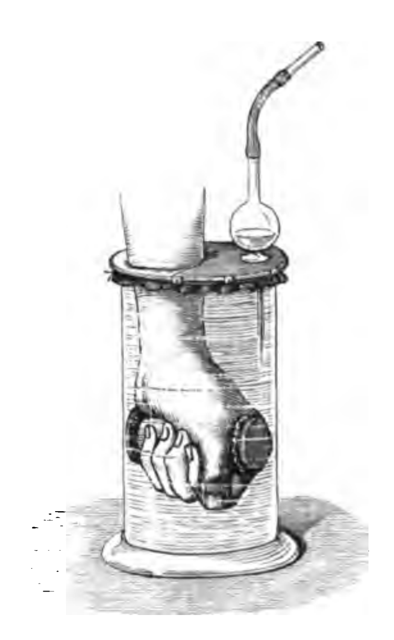


Fig. 50.
Apparat von Buisson, modifiziert von Fr. Franck zur Messung der Volumänderungen der Hand (La circulation p. 201).

A. Plethysmographie der Extremitäten.

Die Versuche, die Volumschwankungen der Glieder zu beobachten, reichen schon sehr weit zurück. Marey gibt in seiner „circulation du sang" S. 199 die Geschichte dieser Bestrebungen. Danach war Piégu der erste, der ein Glied vollständig in ein Gefäß mit Wasser einschloß. Das Gefäß war mit einer aufrechten Röhre verbunden, in der das Wasser stand. Bei jeder Herzsystole erhob sich das Niveau merkbar und es ging bei jeder Diastole wieder zurück. Weiter hat Chelius 1850 (s. a. Thèse de A. Suc. 1879) einen Apparat konstruiert, der eine Sphygmographie volumétrique erzielen sollte. In den Apparaten sollte die Vermehrung des Volumens der Hand und des Vorderarms eine gewisse Menge Wasser verdrängen. Die Geschwindigkeit der Verdrängung sollte gemessen werden. Chelius führte den Arm in einen Glaszylinder, dessen Rand dicht mit der Haut durch einen Kautschukring verbunden war. Der Zylinder war voll Wasser und mit einer U-förmigen Röhre verbunden, die ein Registriermanometer vorstellte. Nach dieser Darstellung Mareys wäre Chelius als ein unmittelbarer Vorgänger Ficks (siehe unten) anzusehen. Der Apparat von Buisson

(1862) war im wesentlichen ähnlich gestaltet. Zweifellos ist aber Fick (1869) der erste gewesen, der diesen Gedanken ohne Kenntnis seiner Vorläufer konsequent verfolgte und die physikalischen Beziehungen der Methode näher analysierte. Der Hauptzweck bei der Konstruktion seines Apparates war, eine Methode auszubilden, durch welche die Blutgeschwindigkeit bei dem Menschen bestimmt werden konnte. Über diese Seite der Methode wird in dem nächsten Kapitel noch das Nötige gesagt werden. Ich gebe hier die Beschreibung des Fickschen Apparates mit seinen eigenen Worten:

„Der Arm wird in einen Zylinder von Zinkblech, worin er gerade bequem Platz hat, eingelegt. Der Verschluß am offenen Ende des Zylinders wird durch einen etwa handbreiten Kautschukring vervollständigt, der sich dem Arme einerseits und am Rande des Blechgefäßes andererseits genau anschließt. Er muß natürlich von so dünnem Kautschuk sein, daß er keinen den Blutkreislauf irgendwie beeinträchtigenden Druck auf den Arm ausübt. Ein solcher Druck ist auch für den dichten Verschluß nicht nötig, da der Kautschukring sich ventilartig anlegt, indem, wie sogleich ersichtlich werden wird, der hydrostatische Druck im Innern des Gefäßes niedriger als der äußere Atmosphärendruck steht. Das Blechgefäß hat noch zwei mit Zargen versehene Öffnungen, die eine ist nach oben gekehrt und dient zum Einfüllen von Wasser, die andere ist nach der Seite gewendet, in ihr steckt ein Glasrohr, das sofort nach unten ziemlich tief umbiegt, dann U-förmig wieder aufwärts gebogen und oben offen ist. Der Durchmesser dieses Rohres beträgt etwa 10 mm. Ist der Arm in das wagrecht liegende Gefäß eingebracht, und die Kautschukkappe über den Arm gestreift, so wird durch die ersterwähnte Öffnung Wasser — natürlich von behaglicher Temperatur — eingegossen, und wenn das Gefäß voll ist, die Öffnung mit einem genau schließenden Korkpfropf verschlossen. Jetzt wird noch ein etwas weiterer Blechkranz über den freien Rand des Gefäßes vorgeschoben und der ringförmige Raum zwischen ihm und dem Kautschukring mit weichem Ton ausgefüllt, so daß der Kautschukring, wo er frei über den Zwischenraum zwischen dem Arm und dem Gefäßrande überspringt, nicht in Schwingungen geraten kann. Alle diese Manipulationen sind in weniger als 5 Minuten bequem auszuführen. Man sieht jetzt das Wasserniveau im offenen Glasrohre mit dem Pulse isochrone Schwankungen machen, an welchen man meist auch schon ohne besondere Hilfsmittel einen direkten Rhythmus wahrnimmt. Den mittleren Stand des fraglichen Wasserniveaus hat man ganz in seiner Gewalt durch kleine leicht ausführbare Lageänderungen des Armes. Steht es

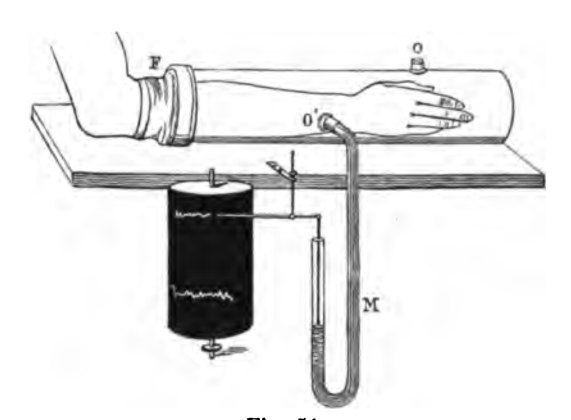


Fig. 51.
Apparat von Fick (La circulation p. 199).

im Mittel zu hoch, so zieht man den Arm eine Spur aus dem Gefäß zurück. Man richtet es zweckmäßig so ein, daß der mittlere Stand des Niveaus tiefer liegt, als das Gefäß, so daß also der Druck im Innern des Gefäßes vom Atmosphärendruck übertroffen wird.

Die Schwankungen des Niveaus geben nun offenbar die Schwankungen des Armvolums, soweit derselbe vom Gefäß umschlossen ist, vollkommen getreu wieder, und es gilt also nur noch, sie graphisch zu registrieren. Zu diesem Zwecke dient ein leichter, auf das Niveau gesettzer Schwimmer, der seine Bewegungen an der Trommel des Kymographion anzeichnet. Er besteht aus einem kreisrunden Korkplättchen von etwa 2 mm Höhe, dessen Durchmesser nur sehr wenig kleiner ist, als der Durchmesser des Glasrohres, so daß zwischen ihm und der Glaswand ein enger kapillarer ringförmiger Raum übrig bleibt. In das Korkplättchen ist ein dünnes Schilfstäbchen senkrecht eingesteckt von etwa 20 cm Länge. Einige Zentimeter über dem Korkplättchen ist an das Schilfstäbchen eine feine Nähnadel quer angekittet, deren Länge eine Spur kleiner ist als der Durchmesser des Rohres. Noch einige Zentimeter höher ist eine zweite ebensolange Nadel an das Schilfstäbchen angekittet, so daß die durch sie und das Stäbchen gelegte Ebene senkrecht steht zu der Ebene, die durch die erste Nadel und das Stäbchen bestimmt wird, oder wie man auch sagen kann, die beiden Nadeln überkreuzen einander senkrecht. Wieder einige Zentimeter höher ist endlich wieder eine der ersten parallele Nadel an das Stäbchen befestigt. Durch diese drei Nadeln wird das Schilfstäbchen sicher und doch mit sehr geringer Reibung in dem Rohre gerade geführt. An der Spitze, die über das Rohr herausragt, trägt das Schilfstäbchen ein queres ebenso leichtes und kürzeres Stäbchen, an dessen einem Ende eine kleine Nadelspitze zum Zeichnen angekittet ist. Um diese Spitze leise an die Trommel des Kymographion angedrückt zu halten, dient der ebenso sinnreiche als einfache Kunstgriff Ludwigs, nämlich ein leichtes Senkblei, das der Achse der Trommel parallel herabhängt."

Der Ficksche Apparat war also mit Wasser gefüllt. Die Abdichtung geschah durch eine Kautschukmanschette, die so dünn ist, daß sie den Blutkreislauf nicht beeinträchtigt. Durch den weiteren Blechkranz, der die Kautschukmanschette umschloß, und die Ausfüllung des Zwischenraums zwischen der Kautschukmanschette und dem Blechkranz mit Ton sollte ein Verschluß hergestellt werden, der annähernd starr war. In dem an die Büchse angeschlossenen Wassermanometer kann man vielleicht ein Vorbild für den späteren Pistonrekorder erblicken.

Im Ludwigschen Laboratorium ist dann 1874 von Mosso zur Messung der Volumveränderung der ausgeschnittenen Niere eine ähnliche Vorrichtung angewandt worden. Sie hat den Namen „Plethysmograph" bekommen. (Von „πληθύνω, füllen, vermehren.") Der Apparat wird folgendermaßen beschrieben:

„Messung des Organvolums durch den Plethysmographen. — Um eine schnelle genaue und kontinuierliche Bestimmung des veränderlichen Volumens der Niere auszuführen, lag der Gedanke nahe, dieselbe in einen mit einer indifferenten Flüssigkeit, also mit Öl gefüllten und abgeschlossenen Raum zu bringen und die Quantität des Öles zu messen, die aus einer

Öffnung durch eine Röhre hinein- oder herausfließen mußte, je nachdem das Organ sich verkleinerte oder vergrößerte. Die Ausführung dieser Forderung, deren Lösung so einfach schien, zeigte in der Ausführung einige Schwierigkeiten. Es ist nämlich die Niere, ebenso wie jedes andere Organ, gegen den Druck, der auf ihre Oberfläche ausgeübt wird, außerordentlich empfindlich; darum zeigten sogleich die ersten Versuche, bei denen das von der anschwellenden Niere verdrängte Öl in eine vertikal auf dem Deckel des Behälters errichtete Röhre stieg, daß schon ein Druck von wenigen Zentimetern einer Flüssigkeit von so geringem spezifischem Gewicht hinreichend war, um den Abfluß des venösen Blutes zu beeinträchtigen. Jetzt mußte man also darauf bedacht sein, einen Apparat zu konstruieren, mit welchem die Veränderung in dem Volumen des Öles genau gemessen werden konnte, ohne daß dieses einen Druck auf die Niere ausübte. Dieses gelang folgendermaßen: α) Ein sehr dünnwandiges ungefähr 16 cm langes Probiergläschen (B) war an zwei Seidenfäden aufgehängt, die über eine doppelte Rolle liefen und andererseits durch ein Stück Blei und eine Glasfeder, wie sie zum Schreiben auf das Kymographion dient, das Probierglas äquilibrierten. — β) Eine Glasröhre leitete aus der oben beschriebenen Seitenöffnung des Nierenrezipienten das verdrängte Öl in das Probiergläschen (B) derart, daß der absteigende Röhrenschenkel, dessen Mündung sich im Niveau der Einflußöffnung befand, den Auf- und Niedergang des Probiergläschens innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen nicht hinderte. — γ) Ein großes Becherglas (C) war mit Öl gefüllt, in welches das Probiergläschen (B) gesenkt und so gestellt wurde, daß sein Flüssigkeitsniveau in gleicher Höhe mit den Abflußröhren des venösen Blutes und des Öles im Nierenrezipienten stand.

Bei Beginn jedes Versuches war das Probiergläschen (B) so hoch gezogen, daß es die Oberfläche des Öles gerade berührte und der vertikale Schenkel des Rohres (D), welches das aus dem Rezipienten verdrängte Öl in das Probiergläschen leitete, nahe über dem Boden desselben, aber wenig über dem Ölniveau des Becherglases festgehalten wurde. Nun ist es leicht verständlich, daß sich mit der Vergrößerung der Niere eine ihrer Volumvermehrung gleiche Menge von Öl in das Probiergläschen begibt, daß dieses aber in das mit Öl gefüllte Becherglas soweit herabsinkt, bis es ein seinem Inhalt entsprechendes Quantum Öl verdrängt hat. Wenn sich die Niere wieder verkleinert, wird Öl angesaugt und das erleichterte Probiergläschen schwimmt nach oben.“ —

Mosso benutzt hier die Schwankungen des Volumens zu Rückschlüssen auf den Zustand der Gefäßmuskulatur. Das ist von ihm in ausgedehnterem Maße bei der Übertragung seiner Methode auf den Menschen (1875) geschehen. Die mit dem Apparat gewonnenen Pulskurven betrachtete er als einen neuen Ausdruck für die Herztätigkeit und nannte sie Hydrosphygmogramme, seinen Apparat „Hydrosphygmograph“ (Mosso, Diagnostik des Blutes). An dem Mossoschen Plethysmographen hat Bowditch (1879) eine unwesentliche Änderung vorgenommen.

François Franck (1876) hat die Methode zu ähnlichen Zwecken verwendet. Er oder Marey dürfte zuerst den Mareyschen Tambour zur Auf-

zeichnung der Volumschwankungen angewandt haben (Méthode graphique p. 219). Die verschiedenen älteren Formen des Plethysmographen werden in den Abhandlungen von v. Basch (1876), François Franck (1876 und 1890) besprochen.

Hallion und Comte (1894) schreiben die zirkulatorischen Volumänderungen einzelner Glieder (Finger) mit einem neuen in Gemeinschaft mit François Franck konstruierten Plethysmographen auf (Demonstration auf dem internat. Physiol. Kongreß, Brüssel 1905). Das wesentliche ist, daß das Glied zusammen mit einer registrierenden Ampulle in einen unveränderlichen Raum eingeschlossen ist. Die Einschließung eines Organs durch einen Sack aus Peritonäalmembran ist von Roy (1881) vorgenommen worden.

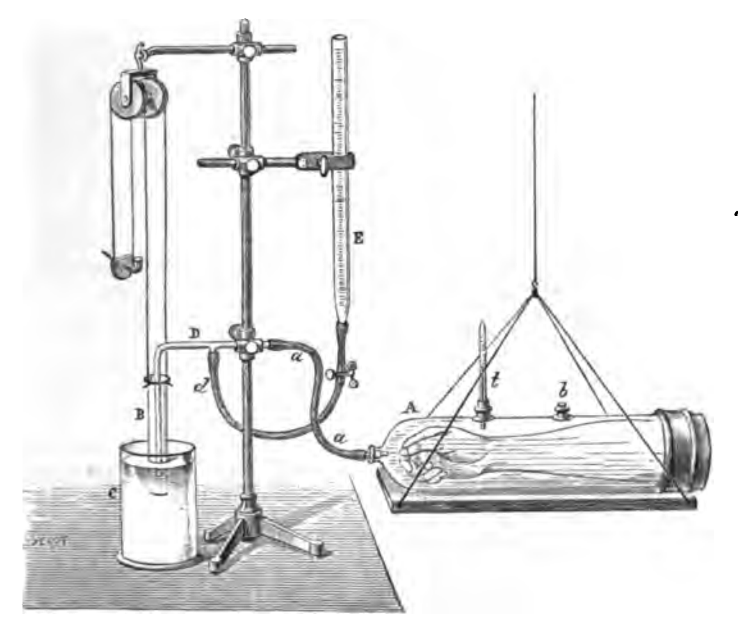


Fig. 52.
Plethysmograph von Mosso (La circulation p. 356).

Der Hallion-Comtesche Fingerplethysmograph ist auch von Postma (1904) angewendet worden. Der letztere hat für die Registrierung eine eigentümliche Vorrichtung konstruiert (siehe Kap. 18). Bei der Verwendung eines Gummisacks u. dgl. für die Umhüllung des Organs, muß natürlich darauf gesehen werden, daß die Rückwirkung durch die Spannung genügend klein ist. Daß durch die gewöhnliche Mareysche Kapsel unter Umständen eine zu große Rückwirkung ausgeübt wird, hat Brodie festgestellt. Er wurde dadurch zur Konstruktion seiner Bellows-Rekorder veranlaßt. (Siehe Teil I, Kap. 15.)

Aus der Literatur notiere ich noch folgende technisch interessante Angabe: Bayliss (1893, S. 303 und 1901, S. 177, vorher Bowditch und Warren, siehe Kap. 69 „Gefäßnerven“, Teil III) hat einen Glas-

plethysmograph für die hintere und vordere Extremität von Hunden benutzt. Die Dichtung erfolgte durch eine Gummimanschette, weiter durch starkes Einreiben der Haut und der nicht abgeschnittenen Haare an dieser Stelle.

Nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn v. Frey eignet sich zur Abdichtung des Plethysmographen eine zwischen die Extremität und die Büchse eingelegte aufblasbare Gummimanschette.

Zur Registrierung der Volumschwankungen dienen jetzt allgemein Mareysche Kapseln, Pistonrekorder oder die Brodieschen Bellowrekorder (vgl. Kap. 15 und 18).

B. Die Onkographie.

a) Der Onkograph mit Flüssigkeit gefüllt.

Eine wesentliche Erweiterung erfuhr das Anwendungsgebiet der Plethysmographie durch die Konstruktion des Onkographen oder Onkometers von Roy (1881). Das Instrument dient zur Messung der Volumschwankungen der in dem Körper befindlichen Niere und anderer Organe, der Milz usw. und ist in der Abhandlung von Cohnheim und Roy (1883, S. 426) etwa folgendermaßen beschrieben.

Es besteht aus zwei durch ein Scharnier verbundenen halbkugeligen Schalen, die an der einen Seite einen aus einer halben Röhre gebildeten Fortsatz tragen. Diese beiden Halbröhren fügen sich bei dem Schluß des Apparates zu einer Röhre zusammen. An einer Halbkugel ist noch ein Röhrenansatz angebracht, zur Verbindung des Inneren der Kugel mit den Registrierapparaten und zum Füllen des Apparates. An dem Rand der Schalen ist je eine dünne aus durchfeuchtetem Kalbsperitonäum gebildete Membran durch einen Ring befestigt. Zwischen dieser Membran und der Schale befindet sich ein Hohlraum, der mit Öl gefüllt ist. Er dient zur Ausgleichung des verschiedenen Volumens der Organe bezw. der Niere. Die Membran schließt das Innere der Metallkapsel am Hilus der Niere nach außen ab, sie legt sich hier ohne Druck an und bedeckt dann ebenso das ganze Organ. Die Volumschwankungen registriert Roy mit einem besonderen Apparat, dem Onkographen. Er ist ein Vorläufer des Pistonrekorders. Der Kolben ist in dem Zylinder durch eine Membran von Kalbsperitonäum abgedichtet. (Siehe Kap. 18.)

Strasser und Wolf (1905) führten die Onkometrie der Milz mit einem ähnlichen Apparat wie Roy durch. Statt des Peritonealsackes klebten sie Kondomhäute innen an.

Piotrowski (1893) konstruierte unter Cybulski und Foster Plethysmographen mit Doppelwandung für die Erzeugung von verschiedenen Temperaturen. Der Abschluß erfolgte durch eine dünne Gummimembran. Sie waren für den Penis, das Ohr und die Zunge vom Kaninchen bestimmt.

Einen eigentümlichen Apparat zur Bestimmung der Volumschwankungen des Darms verwendete Bayliss (1893). Er bestand aus einem Trichter der an dem weiten Ende mit einer dünnen Membran verschlossen und mit warmem Öl gefüllt war. Die Trichterröhre ist mit einer Mareyschen Kapsel verbunden. Der Trichter wird vorsichtig niedriger gestellt, bis die Membran

die Oberfläche einer Darmschlinge berührt, die auf einer Glasplatte ruht. Dann registriert die Mareysche Kapsel im wesentlichen die Volumschwankungen.

Die Methodik François Francks (1895) ist wesentlich der von Piotrowski (1893) ähnlich.

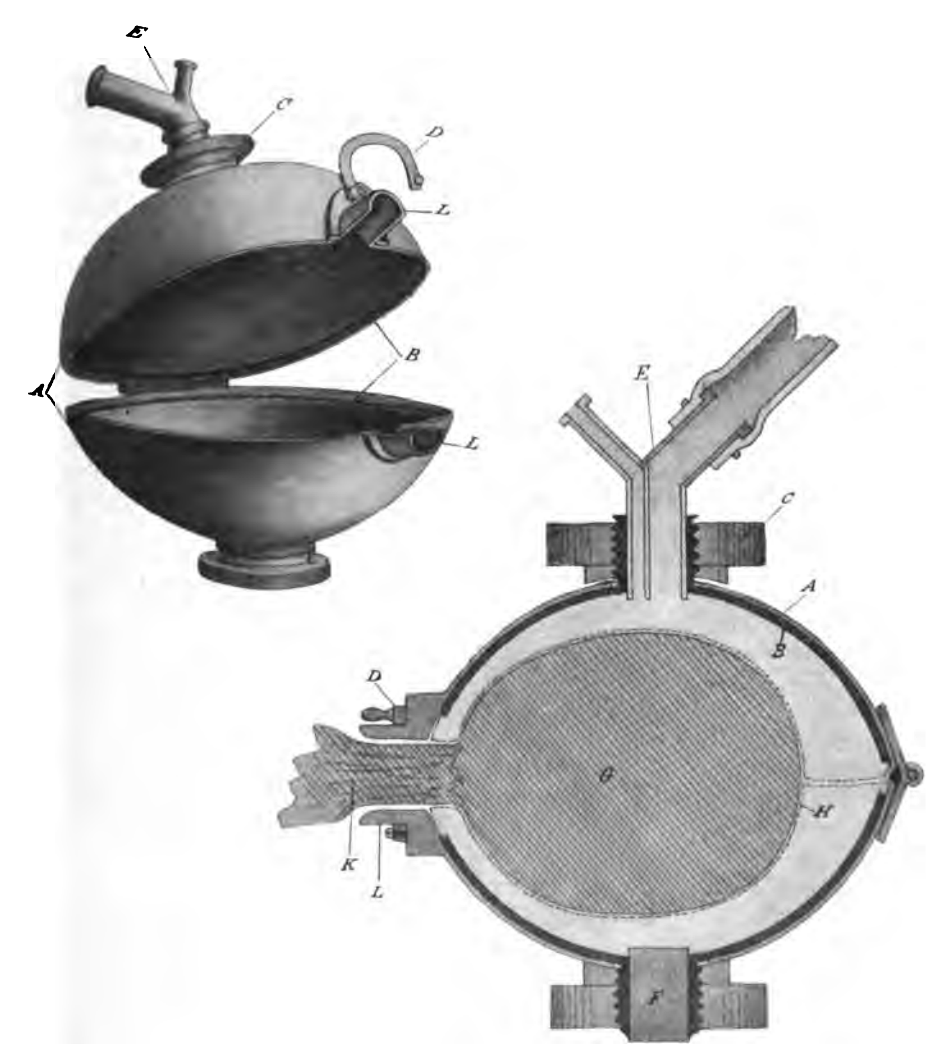


Fig. 53.
Onkograph von Roy. Beschreibung S. 278.

Hallion und François Franck (1896) nahmen nach einem Referat von Hermann die plethysmographische Registrierung des Darmvolumens folgendermaßen vor:

Eine aus der Kontinuität herausgeschnittene, aber mit dem Gekröse verbundene Darmschlinge wird in ein Gefäß mit Salzlösung getaucht; entweder

fließt Lösung aus einer Mariotteschen Flasche tropfenweise regelmäßig zu, und die durch Überlauf abfließenden Tropfen fallen auf einen mit einem Pantographen verbundenen Hebel, oder das Gefäß ist geschlossen und die Registrierung erfolgt plethysmographisch. Die Darmschlinge bleibt in der Lösung offen oder kommuniziert mittels eingebundener Röhren mit einem besonderen Volumschreiber zur Registrierung der Lumenänderungen.

b) Der Onkograph mit Luft gefüllt.

Der Onkograph oder das Onkometer von Roy erscheint Schäfer und Moore (1896) für die Registrierung der Volumschwankungen der Milz ungeeignet, teilweise weil er leicht leckt, teilweise weil der Blutzufluß zu den Organen durch die Kompression an den Lippen des Onkometers gestört wird. Sie bildeten ihre Milzbüchsen aus Guttapercha (oder Stents dental composition, das mit warmem Wasser aufgeweicht wurde, nach persönlicher Mitteilung auch von Herrn Bayliss empfohlen). Jede besteht aus einer länglichen Büchse mit abgeschliffenem Rand, auf den eine Glasplatte genau paßt. Der Glasdeckel wird durch Gummibänder festgehalten und durch Vaselin luftdicht gemacht. Eine Seite der Büchse hat einen flachen Ausschnitt, durch den die Blutgefäße des Organs, das in der Büchse auf Watte liegt, hindurchgeführt werden. Die Öffnung wird luftdicht durch eine dicke Lage von Vaselin, eventl. mit etwas Watte, die mit Vaselin durchtränkt ist, verschlossen. Die Röhre der Büchse wird durch einen Gummischlauch entweder mit einem Tambour oder einem Pistonrekorder verbunden. Die Kurven, die mit diesem Instrument erhalten werden, sind viel gleichmäßiger als mit dem Royschen Instrument.

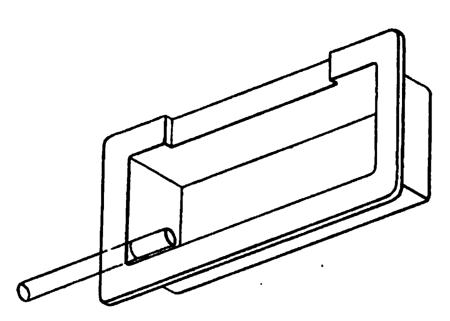


Fig. 54.
Onkograph von Schäfer für die Milz.

Halliburton und Mott (1897, S. XX) bilden ein mit Luft gefülltes Onkometer für die Niere aus Guttapercha.

Edmunds (1898) konstruiert einen ausgezeichneten Plethysmographen für den Darm. Halbkugel aus Guttapercha, durch Einlegen des Guttaperchas in heißes Wasser geformt. Öffnung am Boden für die Darmschlinge, die durch die Bauchwunde hervorgezogen wird. Röhre zu der Mareyschen Kapsel mit T-Stück, um den Druck auf 0 zu stellen, während der Beobachtung geschlossen. Auf den Rand der Halbkugel Glasplatte mit Vaselin oder besser Vaselin und etwas Paraffin aufgedichtet. Ebenso Mesenterium in der Fußöffnung eingedichtet durch Vaselin und Watte mit Vaselin getränkt.

Edmunds konstruierte ferner einen Onkographen mit Doppelwänden für die Durchleitung von warmem Wasser.

Wie Brodie die onkometrische Methode zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit verwertet, ist in Kap. 45 dargestellt.

C. Ersatzmethode von François Franck.

„François Franck (1890) (Referat von Hermanns Jahresbericht, S. 66) benutzt zur Registrierung der Volumpulsationen statt des Plethysmographen ein auf den gut befestigten Finger aufgesetztes, stark vergrößerndes Fühlhebelsystem (welches also nur Durchmesserpulsationen, nicht Volumpulsationen verzeichnet. Ref.). Der Apparat ist S. 120 der Abhandlung abgebildet." Ich führe folgende Modifikationen dieser Methode an: Hallion et François Franck (1896), Registrierung des Lebervolumens. Ein oder mehrere Lappen zwischen zwei Explorateurs gebracht. Zugleich Milzvolum, Gefäßdrücke usw. François Franck et Hallion (1897). Dieselben Methoden wie 1896: Doppelexplorateur für das Volumen der Leber und ähnliche Vorrichtung für das Pankreas nach Isolation der letzteren von dem Duodenum, entsprechend der Zeichnung S. 662.

Nach einer Bemerkung in der Abhandlung von 1907, S. 40, hat Hallion eine im Prinzip ähnliche Methode für die Volumregistrierung der Schilddrüse angewendet, ebenso wie in einer gemeinschaftlich mit François Franck veröffentlichten früheren Arbeit, und in einer weiteren mit Laignel-Lavastine, über die Volumschwankungen der Nebenniere.

Schließlich zitiere ich noch eine Bemerkung von François Franck (1908): Chez l'homme j'emploie une ampoule élastique de sonnerie à air, portant sur l'une de ses faces une plaque métallique qui permet de la soumettre à une légère contre-pression dans un gant ou dans une chausette de peau résistante lacée comme un brodequin.

Ballantyne 1899 s. Kap. 40.

v. Basch 1876. Die volumetrische Bestimmung des Blutdruckes am Menschen. Wiener Med. Jahrbücher 4, S. 8.

Bayliss 1893. On the physiology of the depressor nerve. Journal of physiol. XIV. p. 303.

Bayliss 1901. On the origin from the spinal cord of the vasodilator fibres of the hind limb and on the nature of these fibres. Journ. of physiol. XXVI. p. 173.

Bowditch 1879. A new form of plethysmograph. Proceeding of the american Academy 14. Mai.

Buisson 1862. Thèse inaugurale. Paris.

Chelius 1850. Vierteljahrsschrift f. d. prakt. Heilkunde von der med. Fakultät in Prag XXV.

Cohnheim und Roy 1883. Untersuchungen über die Zirkulation in den Nieren. Arch. f. pathol. Anat. XCII. S. 424.

Edmunds 1898. An intestinal plethysmograph. Journ. of physiol. XXII. p. 380.

Fick 1868. Die Geschwindigkeitskurve in der Arterie des lebenden Menschen. Untersuchungen a. d. physiol. Labor. d. Züricher Hochschule I. Wien 1869 S. 51.

Fick 1886. Die Druckkurve und die Geschwindigkeitskurve in der arteria radialis des Menschen. Verhandl. d. physiol.-med. Ges. in Würzburg XX. S. 33.

François Franck 1876. Le volume des organes dans ses rapports avec la circulation du sang. Traveaux du laboratoire de Marey, II, p. 15.

François Franck 1890. Étude du pouls total des extremités au moyen d'un sphygmographe volumétrique. Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 118.

François Franck 1895. Recherches sur l'innervation vaso-motrice du pénis. (Labor. d. physiol. pathol. des hautes-études.) Arch. d. physiol. norm. et pathol. XXVII. p. 122, 138.

François Franck 1908. Données techniques générales sur les procédés volumétriques applicables à l'homme. C. R. Soc. Biol. Paris T. 64. p. 1153—1156.
François Franck et Hallion 1896. Recherches expérimentales sur l'innervation vasoconstrictive du foie. Arch. de physiol. norm. et pathol. p. 908—922, 923—936.
François Franck et Hallion 1897. Recherches expérimentales sur l'innervation vasomotrice du foie. III und IV. Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 434—447, 448—458.
François Franck et Hallion 1897. Circulation et innervation vaso-motrice du pancreas. Arch. de physiol, S. 661.
Halliburton and Mott 1897. Preliminary account of the effects upon blood pressure produced by ... Choline, Neurine etc. Journ. of physiol. XXI, p. XVIII.
Hallion 1907. Effet vaso-dilatateur de l'extrait ovarien sur le corps thyroide. C. R. d. l. Soc. d. Biol. II. p. 40.
Hallion et Comte 1894. Recherches sur la circulation capillaire chez l'homme à l'aide d'un nouvel appareil pléthysmographique. Arch. de phys. norm. et path. (5) VI. p. 381.
Hallion et Comte 1897. Sur la forme du pouls total fournie par notre pléthysmographe. Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 96.
Hallion et François Franck 1896. Recherches expérimentales exécutées à l'aide d'un nouvel appareil volumétrique sur l'innervation vaso-motrice de l'intestin. Arch. de physiol. norm. et pathol. 478—492, 493—508.
Hallion et François Franck 1896. Recherches sur l'innervation vasomotrice du pancreas. C. R. d. l. Soc. d. Biol. 561—563.
Piégu 1846. C. R. d. l. Acad. des sciences 22. S. 682.
Marey Méthode graphique p. 219. Traveaux du laboratoire A. IV.
Mosso 1874. Von einigen neuen Eigenschaften der Gefäßwand. Ber. d. sächs. Acad. Math.-phys. Cl. S. 305—372.
Mosso 1875. Sopra un nuovo metodo per scrivere i movimenti dei vasi sanguigni nell uomo. Ac. sc. di Torino XI. 14 nov.
Mosso 1879. Diagnostik des Pulses. Leipzig.
Piotrowski 1893. Studien über den peripherischen Gefäßmechanismus. Pflügers Arch. LV. S. 240—303.
Roy 1881. The physiology and pathology of the spleen. 1. Communication. (Cambridge physiol. Labor.) Journ. of physiol. III. p. 203—228.
Schäfer and Moore 1896. On the contractility and innervation of the spleen. Journ. of physiol. XX. p. 1—50.
Schäfer and Moore 1896. On the rhythmic contractility of the spleen. Preliminary notice. Proceed. Roy. Soc. LIX. p. 229—231.
Strasser und Wolf 1905. Über die Blutversorgung der Milz. Pflügers Arch. 108, S. 590.
Suc A. 1879. Thèse, Paris.

Kapitel 47.

Tachographie.

Fick (1898, vgl. Kap. 46) war der erste, der durch eine planvoll ausgearbeitete Methode die Blutgeschwindigkeit bei dem Menschen oder strenger, die Veränderungen der Blutgeschwindigkeit zu bestimmen suchte. Er registrierte mit einem Instrument, das in dem vorhergehenden Kapitel beschrieben ist, die Volumschwankungen in dem Vorderarm und überlegte sich, daß wenn die Geschwindigkeit, mit der das Blut aus den Venen ausströmt, als konstant gelten kann,[1] die Volumänderung oder der erste Differentialquotient der Volum-

1) Garten (1904) hat die Geschwindigkeit konstant gefunden.

pulskurve proportional dem Sekundenvolumen der arteriellen Strömung durch den Vorderarm ist. Seine eigenen Worte (1869, S. 555, Bd. III der gesammelten Werke) lauten:

„Bemerken wir nun, daß wir allen Grund haben zu der Annahme, daß im betreffenden Querschnitte der vena axillaris eine konstante Geschwindigkeit herrsche, dann ergibt sich sofort die Möglichkeit, aus unserer Volumänderungskurve die Kurve der Änderungen der Stromstärke in der arteria axillaris zu konstruieren, oder anders ausgedrückt eine Kurve, deren Ordinaten den Unterschied der Stromstärke in der arteria von der Stromstärke in der vena axillaris darstellen."

Wenn diese Ableitung einen Anspruch auf Genauigkeit machen soll, so muß die Volumpulskurve so exakt, als das nur möglich ist, und ohne Rückwirkung registriert werden. Es ist zweifellos, daß diese Voraussetzung bei dem Fickschen Apparat nicht erfüllt war. Zunächst dürfen durchaus keine Druckschwankungen vorkommen, d. h. sie müssen auf ein Minimum beschränkt sein. Das ist bei dem Fickschen Apparat schon deshalb nicht gewährleistet, weil die Trägheitskräfte nicht auf ein Minimum beschränkt waren. Um diesen Bedingungen zu genügen, hat Garten (1904) die Bewegungen einer Seifenblase, die mit der Plethysmographenbüchse luftdicht verbunden war, zur Registrierung der Volumschwankungen benutzt. Dasselbe leistet die Franksche Spiegelkapsel. Man wird wohl sagen können, daß die bis jetzt gebrauchten Volumregistrierer mit Hebelschreibung überhaupt nicht den für die Erzielung richtiger Geschwindigkeitskurven notwendigen Bedingungen genügen.

Um die Schwierigkeiten der Ableitung des ersten Differentialquotienten zu umgehen, und um die Fehler der indirekten Bestimmung der Geschwindigkeit zu vermeiden, hat v. Kries (1887) ein Verfahren ausgedacht, mit dem die Geschwindigkeitskurve unmittelbar verzeichnet werden sollte. Er bezeichnet es als Tachographie. Ich referiere und zitiere aus seiner Abhandlung folgendes:

S. 261. „Die Aufzeichnung seiner Volumpulse ist zu ungenau, als daß sie zur Ableitung der Geschwindigkeitskurve dienen könnte." v. Kries weist darauf hin, daß wenn man den Plethysmographen ganz mit Wasser füllt, zu starke Druckschwankungen auftreten. Am richtigsten wäre es, wenn man ihn ganz mit Luft füllt. Aber dann ist die gewöhnliche Mareysche Kapsel zu unempfindlich und empfindlichere Kapseln besitzen störende Eigenschwingungen. Außerdem stören die Erzitterungen des Plethysmographen sehr; „ein Beweis für das Taktgefühl Ficks, daß er trotzdem richtige Kurven erhalten hat."

v. Kries ersinnt daher eine direkte Methode. Er erläutert sie folgendermaßen: „Denken wir uns die Hand und einen Teil des Armes nach Art der plethysmographischen Methode in einen Zylinder eingeschlossen, diesen aber mit Luft gefüllt, und durch eine Öffnung mit der äußeren Luft kommunizierend, so muß bei den Volumschwankungen durch diese Öffnung abwechselnd Luft hinausgetrieben und wieder eingesogen werden. Bei hinreichend weiter Öffnung entspricht offenbar die Stärke des Luftstromes der Geschwindigkeit, mit welcher das Volumen des Armes zu- oder abnimmt; somit ist auch leicht zu übersehen, daß die Stärke des Luftstromes nichts

anderes darstellt, als den jeweiligen Überschuß der arteriellen über die venöse Stromstärke; den positiven und negativen Werten dieses Überschusses entsprechen die positiven und negativen Werte der Stärke des Luftstromes, d. h. die Richtung desselben aus dem Zylinder heraus oder in ihn hinein. Druckschwankungen finden hier im Inneren des Zylinders, da er mit der atmosphärischen Luft in offener Verbindung steht, nur in minimalem Betrage statt. Dafür entsteht nun die Aufgabe, die Stärke des Luftstromes zur Anschauung zu bringen und aufzuzeichnen. Hierzu eignet sich nun (ich übergehe eine Reihe von Versuchen, die nicht zu befriedigenden Resultaten geführt haben) in hervorragender Weise die Gasflamme. Die Höhe einer solchen (und namentlich auch ihres leuchtenden Teiles) hängt nämlich von der Geschwindigkeit des Ausströmens ab."

Das Prinzip des Apparates ist aus der nebenstehenden Figur leicht ersichtlich.

v. Kries macht S. 265 darauf aufmerksam, daß die Anwendung der Methode verschiedene Punkte zu berücksichtigen hat. Zunächst muß die

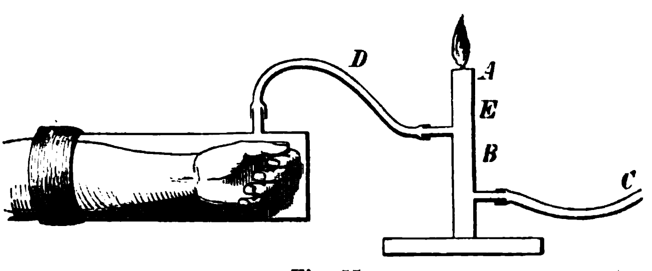


Fig. 55.
Tachograph von v. Kries. Schema.

Öffnung, aus der das Gas ausströmt, hinreichend weit sein. Ist sie zu eng, so bekommt man Kurven, die den Volumschwankungen nahestehen. Nun tritt aber, wenn die Ausströmungsöffnung groß gemacht wird, leicht ein Flackern der Flamme ein. Dieses Flackern kann bei einer Flamme, die ohne Verbindung mit dem Plethysmographenraum brennt, durch Umgeben der Flamme mit einem Zylinder aufgehoben werden. Das Mittel versagt aber, wenn die Flamme mit dem pulsierenden Glied in Verbindung gebracht wird; dann flackert die Flamme immer. v. Kries läßt deshalb die Ausströmungsöffnung eng und gibt dem Gas noch einen zweiten Ausweg durch eine Nebenflamme. Er macht ferner darauf aufmerksam (S. 266), daß der Plethysmographenraum, d. h. der Luftraum, der in der Plethysmographenbüchse noch verbleibt, möglichst klein sein muß und zwar um so kleiner, je enger die Öffnung ist, aus der das Gas abfließt, wenn Geschwindigkeitskurven dargestellt werden sollen. Die Spitze der Flamme wird auf eine bewegte photographische Platte projiziert, nachdem die Lichtstrahlen entsprechend gewählte Spalte passiert haben. Die Maßnahmen, die zur photographischen Aufnahme notwendig sind, brauchen jetzt nicht mehr genauer beschrieben zu werden; man kann zur Aufnahme ein beliebiges optisches Kymographion nehmen. Zur Herstellung der Gasflamme muß ein besonderes Gasometer

verwendet werden, da in den gewöhnlichen Leitungen fortwährend Druckschwankungen stattfinden. Um die Lichtstrahlen, die von der Flamme ausgehen, kräftiger wirkend zu gestalten, wurde dem Gas Benzindampf dadurch beigemengt, daß das Gas durch eine Flasche, die mit benzingetränktem Bimsstein gefüllt war, hindurchstrich.

Abele (1892) hat unter der Leitung von v. Kries eine Reihe von Fehlerquellen, die vor allem die Flammenregistrierung besitzt, untersucht, so die Frage, ob der leuchtende Teil der Flamme aktinisch photographisch wirkt usw. Alle diese Fehler lassen aber nach Abele die Methode für die Untersuchung der Pulsphänomene nicht als unbrauchbar erscheinen.

Eine Abbildung der gesamten Anordnung entnehme ich der „Untersuchung des Pulses" von v. Frey S. 65.

v. Kries macht weiter darauf aufmerksam, daß das Gassphygmoskop, wie es von Landois (1870) und Klemensiewicz (1873) zur Demonstration der Pulsbewegung angewandt haben, kein eigentliches Sphygmogramm liefert,

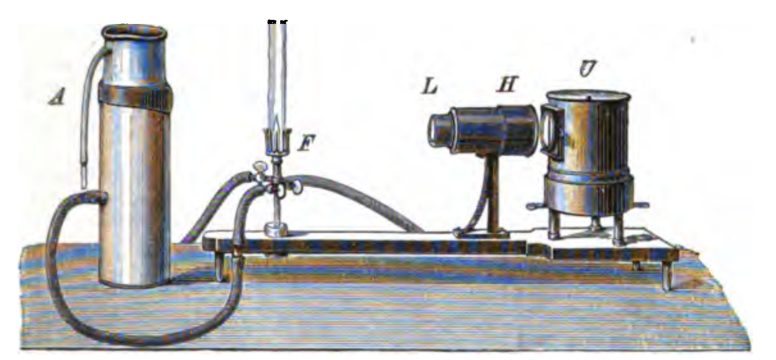


Fig. 56.
Tachograph von v. Kries. (Aus „Untersuchung des Pulses" von v. Frey.)

sondern ein differenziertes Sphygmogramm, und daß aus dem Dikrotismus, welchen das Gassphygmoskop zeigt, auf den Dikrotismus des Pulses nicht geschlossen werden kann, wie dies Landois getan hat. Er erklärt zum Schlusse, daß es unerläßlich ist, selbst bei Anwendung an sich vortrefflicher Verfahrungsweisen eine genaue theoretische Kritik der Methoden durchzuführen. Man kann diesem Satz nur zustimmen. Daß die v. Kries gegebene Kritik des Tachographen „nicht vollständig ist, hat er selbst gefühlt. S. 144 der Studien zur Pulslehre schreibt er auf Einwendungen, die Hoorweg (1890)" gegen seine Methode gemacht hat, „daß es wünschenswert erscheinen kann, über die Art und Weise der Flammenreaktion noch durch besondere Kontrollversuche Aufschluß zu erhalten". Er berichtet an dieser Stelle über Versuche, die hauptsächlich dazu dienen sollten, nachzuweisen, daß die Flammenbewegung keine in Betracht kommenden Trägheitskräfte birgt. Seine Versuche sind fähig, Zweifel, die man in dieser Richtung hegen mußte, zurückzudrängen.

Von der Überzeugung ausgehend, daß nicht allein das Instrument nach der von v. Kries eingeschlagenen Richtung zu prüfen sei, sondern daß eine

möglichst vollständige Theorie des Grundprinzips ausgebildet werden müsse, habe ich (1907) eine Theorie des Tachographen entworfen, und auf Grund dieser Theorie eine neue Konstruktion eines Tachographen ausgeführt.

Das von mir konstruierte Instrument besteht aus einer Plethysmographenkapsel, in die der Körperteil eingeführt wird. Sie besitzt zwei Öffnungen. Die eine Öffnung A dient zur Verbindung des Plethysmographenraums mit einer sehr empfindlichen optischen Kapsel (Herztonkapsel), die andere Öffnung C kann durch einen Hahn oder in anderer Weise abstufbar verschlossen werden. Ist die Seitenöffnung geschlossen, so schreibt die Kapsel Volumschwankungen auf, ist sie genügend offen, so schreibt die Kapsel die ersten Differentialquotienten der Volumschwankungen, also bei dem Plethysmographen die Kurve der Einströmungsgeschwindigkeit auf.

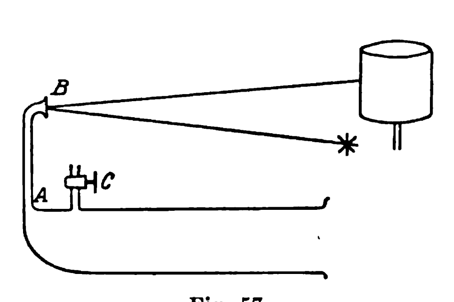


Fig. 57.
Tachograph des Verfassers.

Von der größten Bedeutung scheint es mir, die Theorie des Instruments zu entwickeln. In erster Annäherung läßt sich die Differentialgleichung des Vorganges, wie folgt, anschreiben:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dp}{dt} \cdot \frac{1}{E'} + \frac{p}{w} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Hier bedeutet V die Volumschwankungen des Körperteils, das Volum, um das der Plethysmographen- oder ein ähnlicher lufterfüllter Hohlraum vermehrt oder vermindert wird, p den Druck, der in dem Plethysmographenraum herrscht, w den Widerstand, den die aus der Öffnung austretende Luft nach dem Poiseuilleschen Gesetz erfährt, und $E' = b/J$, den Volumelastizitätskoeffizienten des Plethysmographenluftraums von dem Volumen J. $\frac{dV}{dt}$ oder die Geschwindigkeit = i, mit der das Blut in den Körperteil einströmt, ist also proportional p, der Druck des Plethysmographenraums gibt also die Stromstärke an, wenn der erste Summand der linken Seite vernachlässigt werden kann. Verschwindet der zweite Summand gegenüber dem ersten, so ist der Druck den Volumschwankungen proportional, es wird die gewöhnliche Plethysmographenkurve aufgeschrieben. Dies ist der Fall, wenn der Widerstand w unendlich wird oder wenn die Öffnung verschlossen ist.

Setzt man voraus, daß der erste Summand nur verschwindend klein ist, so daß die von der optischen Kapsel aufgeschriebenen Kurven nur wenig von der Geschwindigkeitskurve abweichen, so kann man die Größe dieser fehlerhaften Differenz durch einen allgemeinen Ausdruck bestimmen. Da der erste Summand klein gegenüber dem zweiten sein soll, so erhält man für $\frac{dp}{dt}$ angenähert die Größe: $\frac{d^2V}{dt^2} \cdot w$.

Setzt man sie wieder in die erste Gleichung ein, so resultiert:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2V}{dt^2} \cdot \frac{w}{E'} + \frac{p}{w} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Aus dieser Beziehung kann man das Verhältnis der Ordinaten, der richtigen durch

$dV/dt = i$ repräsentierten und der aufgeschriebenen dem p/w entsprechenden $= i_{reg}$ ermitteln. Es ist gleich

$$\frac{i}{i_{reg}} = 1 + \frac{\frac{di}{dt}}{i} \cdot \frac{w}{E'} \quad \text{. . . . . (3)}$$

$\frac{di/dt \cdot w}{i \cdot E'}$ stellt nach der Voraussetzung einen echten Bruch dar. Je kleiner er ist, um so mehr stimmt die registrierte Druckkurve mit der Kurve der Stromgeschwindigkeit überein.

Der Ausdruck wird um so kleiner, je kleiner w ist, oder um so größer E' oder je kleiner der Inhalt des Plethysmographenluftraums ist. Man kann also durch passende Wahl dieser Größen erreichen, daß die richtige Geschwindigkeitskurve aufgeschrieben wird.

Man sieht aber sofort, daß man vor allem eine möglichste Verkleinerung des Plethysmographenluftraums erstreben muß. Denn einmal fallen die Ausschläge um so größer aus, um so größer w ist. Der Druck p ist ja in erster Annäherung = i. w. Dann aber wird durch einen großen Luftraum eine besondere Art Entstellung der Kurven hervorgerufen, die man aus der Windkesselwirkung des Systems erklären kann, das aus dem Luftraum und dem Schlauch, der zu der Herztonkapsel führt, besteht. Die Bewegungen in diesem Schlauch erfolgen mit Reibung. Ist der Luftraum der Plethysmographenkapsel sehr groß, so tritt eine Dämpfung der Bewegungen in dem Schlauch ein, wie bei der Ausströmung der Flüssigkeit aus einem Windkessel. Dieselbe schädliche Dämpfung tritt auch bei der Registrierung der Volumkurven bei Lufttransmission ein.

Also alles spricht dafür, zunächst den Luftraum der Plethysmographenkapsel möglichst zu verkleinern, dann die Seitenöffnung so groß zu machen, daß die Ordinatenhöhe noch hinreichend groß bleibt.

Aus dieser Beziehung ist aber auch zu ersehen, daß die Geschwindigkeitskurve um so weniger treu von der Herztonkapsel aufgeschrieben wird, je stärker die Änderungen der Geschwindigkeit im Verhältnis zu der Größe der Geschwindigkeit selbst sind, also um so rascher die Geschwindigkeitsänderungen sich abspielen. Rasche Änderungen der Stromgeschwindigkeit, d. i. der Geschwindigkeit, mit der sich das Volum des Körperteils ändert, werden nicht mehr treu aufgeschrieben, sondern in diesem Falle werden die Kurven den Volumänderungen selbst, also der nicht abgeleiteten plethysmographischen Kurve, entsprechen. Kommen solche rasche Änderungen neben langsamen vor, so wird die Kurve weder rein die ursprüngliche Volumkurve selbst noch rein die Stromgeschwindigkeit darstellen, sondern eine Mischung dieser beiden Funktionen. Diese Überlegung ist theoretisch für die Anwendung ähnlicher Verfahren von der höchsten Wichtigkeit. Nur von relativ langsamen Volumänderungen wird man also die richtige tachographische Kurve erhalten können.

Der schädliche Raum muß zunächst durch möglichst genaue Anpassung des Plethysmographenzylinders an die Gliedmaßen verringert werden. Das ist aber wegen des unregelmäßigen Baues der Gliedmaßen nur zu einem beschränkten Grade möglich. Man wird ihn also wohl teilweise durch eine

Flüssigkeit ausfüllen müssen. Die Anfüllung braucht nicht über den halben Durchmesser des Gliedes hinauszugehen. In diesem Falle ist aber die Entstellung der Kurven durch Schleuderung gänzlich ausgeschlossen. Denn die Länge der wirksamen Masse der Flüssigkeit ist nur sehr gering, nur wenige Zentimeter, der Querschnitt sehr groß, außerdem sind die Volumänderungen in den peripheren Gebieten verhältnismäßig wenig brüsk. Die Trägheitskräfte werden nur gering sein.

Die Vorzüge, die das von mir angewendete Verfahren vor der Flammentachographie hat, liegen auf der Hand. Vor allem ist es in theoretischer Hinsicht viel durchsichtiger. Es lassen sich die Voraussetzungen für die Gültigkeit der Theorie vollständig verwirklichen. Bei der Flammentachographie ist die Registriervorrichtung, die Flamme, und das Loch, aus dem das Gas ausströmt, vereinigt. Bei meinem Verfahren läßt sich die Öffnung, aus der das Gas ausströmt, gemäß den Bedingungen, welche die Theorie stellt, beliebig verändern, ohne daß die Konstanten des Registrierapparates ebenfalls geändert werden würden. Die Flammenregistrierung leidet nach den allerdings nicht abgeschlossenen Untersuchungen von Nagel*) an dem Übelstand, daß die Flamme ihre Form bei den Registrierungen verändert. Neben der Registrierung der Tachogramme nach der von mir beschriebenen Methode können leicht, ohne daß ein besonderer Apparat dazu notwendig wäre, andere Registrierungen vorgenommen werden. Wird die Seitenöffnung des Plethysmographenzylinders durch einen Hahn geschlossen, so erhält man unmittelbar die gewöhnliche plethysmographische Kurve. Die neue Methode steht der v. Kriesschen an Empfindlichkeit nicht nach.

Abele 1892. Zur Methode der Flammen-Tachographie. (Physiol. Institut-Freiburg). du Bois Reymonds Arch. S. 22.
Frank. O. 1907. Konstruktion und Theorie eines neuen Tachographen. Zeitschr. f. Biol., Bd. 50, p. 303.
Garten 1904. Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen und seine Anwendung auf den Volumenpuls. (Physiol. Institut, Leipzig.) Pflügers Arch. 104, p. 351.
Hoorweg 1890. Über die Blutbewegung in den menschlichen Arterien. Fortsetzung. Pflügers Arch. XLVII., p. 439.
Klemensiewicz 1873. Untersuchungen a. d. Institut f. Physiol. u. Histologie in Graz.
v. Kries 1887. Über ein neues Verfahren zur Beobachtung der Wellenbewegung des Blutes. Arch. f. Anat. u. Physiol., p. 254.
v. Kries 1891. Studien zur Pulslehre. Freiburg i. B.
Landois 1870. Das Gassphygmoskop. Zentralbl. f. d. med. Wiss., Nr. 28.

Kapitel 48.

Hirndruck.

Die Bewegungen, die das Gehirn unter dem Einfluß der Veränderung der Gefäßweite ausführt, sind in der verschiedensten Weise untersucht worden. Zunächst hat man versucht, die Schwankungen des Flüssigkeitsdrucks oder des Hirndrucks, die auf diese Weise auftreten, zu registrieren,

*) Willib. A. Nagel, Arch. für Anat. u. Phys. 1905, S. 82/83.

dadurch, daß man eine Trepanöffnung in die Schädeldecke machte, in diese Öffnung eine Röhre einschraubte oder einkittete, und die Röhre mit einem Manometer verband. Daß diese Methode unzulänglich ist, haben Hill (Schäfers Textbook, II, S. 145) und Hill und Bayliss (1895, S. 335) auseinandergesetzt. Das Gehirn legt sich bei einem Steigen des Hirndruckes in die Öffnung hinein und verschließt sie wie ein Ventil[1]). Nach dieser Methode hat Salathé (1876) gearbeitet.

Hill verwirft ferner die Methode, die Falkenheim und Naunyn (1887), weiter Dean (1892), und in ähnlicher Weise Knoll (1865) angewandt haben. Die ersten führten einen Katheter in den Subduralraum des Rückenmarks in der Gegend der Cauda equina oder entlang einem Spinalnerv ein und verbanden ihn mit einem Manometer. Knoll führte eine Kanüle durch die occipito-atlantale Membran ein und verband sie mit einem Manometer. Hill meint, daß, wenn der Hirndruck steigt, die geringe Quantität der Hirnflüssigkeit aus dem Gehirn in den Spinalkanal fließt, und daß dadurch die Basis des Gehirns herabsteigt und das Foramen magnum verschließt. Frank und Ziegler haben bei ihren vielfältig veränderten Versuchen, unabhängig von Knoll, dieselbe Methode benutzt, d. h. sie haben die Spitze einer größeren Pravazspritze in derselben Gegend der Dura mater eingestochen wie Knoll. Sie sind aber der Überzeugung, daß auch bei starken Steigerungen des Gehirndrucks dieser dem Druck in dem Rückenmarkskanal parallel läuft.

Hill und Bayliss haben deshalb darauf verzichtet, im allgemeinen direkt den Hirndruck zu messen, und haben den Hirnvenendruck bestimmt, indem sie das Torcular Herophili trepanierten und eine Messingkanüle in die Höhle einschraubten. Die Kanüle wurde mit einem Flüssigkeitsmanometer, die mit gesättigter Magnesiumsulfatlösung gefüllt war, verbunden. Die Manometer waren weiterhin mit sehr empfindlichen Kapseln oder einem Pistonrekorder verbunden. Hill und Bayliss haben sich überzeugt, daß der Druck in dem Sinus und der Gehirndruck stets gleich ist. Zu diesen Versuchen verwandten sie eine Methode, deren Idee von Burton-Sanderson herrührt. Der Schädel wird in der Parietalregion trepaniert, die Dura mater an dieser Stelle weit aufgeschnitten und in das Trepanloch ein Stück Messingröhre eingeschraubt, über deren Ende eine sehr dünne Gummimembran gebunden ist. An die Messingröhre schließt sich nach außen eine enge Glasröhre an, die weiter mit einem T-Stück verbunden ist. Ein Zweig dieses T-Rohrs führt zu einer Druckflasche und der andere zu einem Hg-Manometer. Der ganze Apparat wird vollständig mit Wasser gefüllt und dann eine Luftblase in der feinen Glasröhre als Index eingeführt. Wenn der Apparat eingeschraubt ist, wird die Stellung des Index markiert. Bewegt sich bei einem Wachsen des Hirndrucks der Index nach außen, so kann er durch Heben der Druckflasche wieder auf seine frühere Normalstellung zurückgebracht werden. Ebenso wenn der Index sich nach innen bewegt. Der von dem Hg-Manometer angezeigte Druck ist der Gehirndruck. Frank und Ziegler haben ebenfalls den Druck in dem Torcular Herophili und außerdem in dem Längssinus ge-

1) Die Erfahrungen von Frank und Ziegler (1896) stimmen hierin vollständig mit den Beobachtungen von Hill überein.

messen, dadurch, daß sie eine Pravazspritze in den Sinus einführten und mit einem Manometer verbanden. Sie konstatierten ebenso wie Hill und Bayliss, daß der Druck in dem Sinus und in dem Subduralraum wesentlich identisch sind, sind aber der Überzeugung, daß der Druck in dem Subduralraum direkt bestimmt werden kann. Die Methode von Hill und Bayliss ist eine ähnliche wie die v. Baschsche Methode, den Blutdruck beim Menschen zu bestimmen, und ebenso wie diese nicht ohne Bedenken. Dasselbe würde man doch wohl erreichen können, wenn man einen dünnwandigen Gummiballon unter die Schädeldecke einführen und mit einem geeigneten Manometer verbinden würde.

Die Volumschwankungen des Gehirns wird man wohl am besten mit einer der Roy-Sherringtonschen (1890) ähnlichen Methode registrieren. Gottlieb und Magnus (1902) haben sie angewandt mit einer Modifikation des Apparates, dessen Beschreibung (S. 265) ich mit ihren eigenen Worten wiedergebe: „In die Trepanationsöffnung wurde nach Exzision der freiliegenden Dura der Aufnahmeapparat so eingefügt, daß aus vier seitlichen Öffnungen der Liquor cerebrospinalis frei abfließen konnte. Es wurden also die Volumänderungen des Hirns selbst, genauer der Dickendurchmesser des Hirnes von der Schädelbasis bis zur Großhirnoberfläche bestimmt, unabhängig von einer Mehrproduktion des Liquors. Der Aufnahmeapparat selbst bestand aus zwei Teilen: 1. einer äußeren Röhre a, welche mittels der Klammern c c fest auf den Rand b b des Trepanationsloches aufgeschraubt wurde; 2. aus einer beweglichen Röhre d, welche unten durch eine Membran e aus Kalbsperitoneum verschlossen war und bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt wurde. Diese innere Röhre stand durch einen Gummischlauch mit dem Pistonrekorder in Verbindung. Volumänderungen des Gehirnes f wirkten demnach durch die Membran auf die Flüssigkeit und so auf den Pistonrekorder.“ Gottlieb und Magnus heben hervor, daß bei ihrem Apparat die innere Röhre durch die Schraube g immer so gestellt werden kann, daß die Membran der Hirnoberfläche wirklich gut anliegt. Es ist klar, daß man mit dieser Methode nicht reine Volumschwankungen des Gehirns erhält, und daß sie auch eine genaue Berücksichtigung der soeben wiedergegebenen Vorschrift von Gottlieb und Magnus erfordert.

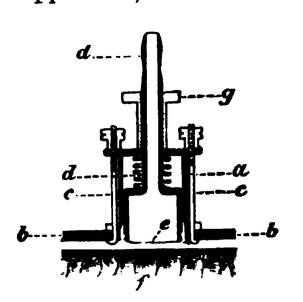


Fig. 58.
Registrierung der Volumschwankungen des Gehirns nach Roy-Sherrington. Modifikation von Gottlieb-Magnus.

Hill und Macleod (1901) benutzten das Hillsche Instrument (s. oben) zur Registrierung des Hirnvolumens. Sie verbanden die Röhre des Hillschen Instrumentes mit einer empfindlichen Kapsel oder photographierten den Meniskus in der Röhre.

Zur Feststellung der Gehirnzirkulation sind verschiedene Methoden angewandt worden. Das Verfahren zur Bestimmung des Sinusdruckes habe ich bereits oben erwähnt. Hürthle (1889) und Cavazzani (1893) haben den Druck in dem Circulus Willisii dadurch gemessen, daß sie in das periphere Ende der carotis endständig ein Manometer einsetzten. Die Geschwindigkeit der Blutströmung kann durch eine in die carotis eingesetzte

Stromuhr oder mit dem Cybulskischen Verfahren gemessen werden. Ferner hat man das Sekundenvolumen in der Vene durch Messung der Ausflußgeschwindigkeit aus dem Hirnast der Vena jugularis festgestellt. Dies ist zuerst von Cramer (1873), dann von Gärtner und Wagner (1887) ausgeführt worden. Dabei müssen natürlich alle Seitenzweige dieses Hirnastes abgebunden werden. (Siehe hierüber besonders Cramer 1873.) Die Messung der Ausflußgeschwindigkeit geschieht nach den in Kapitel 45 angegebenen Verfahren.

Cavazzani 1893. Arch. ital. d. biol., XIX, p. 24.
Cramer 1873. Untersuchungen über den Blutdruck im Gehirn. Inaug. Dissertation, Dorpat.
Cybulski 1890. Zentralbl. f. Physiol., S. 834.
Dean 1892. Journ. Pathol. and Bacteriol. Edinburgh and London, I, p. 26.
Falkenheim und Naunyn 1887. Arch. f. exper. Pathol. und Pharmakol., XXII, S. 261.
Gärtner und Wagner 1887. Wiener med. Wochenschr., S. 602.
Gottlieb und Magnus 1902. Über den Einfluß der Digitaliskörper auf die Hirnzirkulation. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol., Bd. XLVIII, S. 262.
Hill 1896. Cerebral circulation, London 1896.
Hill and Bayliss 1895. Journ. of physiol., XVIII, p. 334.
Hill and Macleod 1901. A further enquiry into the supposed existence of cerebral vaso-motor nerves. Journ. of physiol., XXVI, p. 394.
Hürthle 1889. Beiträge zur Hämodynamik. 3. bis 5. Abhandlg. Untersuchungen über die Innervation der Hirngefäße. Pflügers Arch., XLIV, S. 561, XLVII, S. 1.
Knoll 1886. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch.
Roy and Sherrington 1890. On the regulation of the bloodsupply of the brain. (Cambridge pathol. labor.) Journ. of physiol., XI, p. 85.
Salathé 1876. Trav. du labor. de Marey, T. II, p. 362.
Ziegler und Frank 1896. Über die Mechanik des normalen und pathologischen Hirndrucks. Arch. f. Chirurgie, LIII, Sep. Abdr.

Kapitel 49.

Thermometrische Beobachtung der Gefässweite.

Die Veränderung der Temperatur eines Organs oder eines Organteiles hat man sowohl dazu benutzt, um auf eine Veränderung der Wärmeproduktion an dieser Stelle, als auch, um auf eine Veränderung der Wärmeabgabe zu schließen. Daß die erstere Methode sehr unsicher ist, ist in vielen Beispielen gezeigt worden. Ich erinnere nur an die Einwendungen, die Helmholtz gegen das Bestreben machte, die Wärmebildung im Säugetiermuskel durch Beobachtung der Temperaturveränderung des in situ befindlichen Muskels festzustellen. Ebensolche Bedenken kann man aber auch erheben gegen die vielfachen Versuche, die man besonders in der älteren Literatur trifft, aus Temperaturveränderungen auf eine Veränderung der Wärmeabgabe, im besonderen auf die Schwankungen der Gefäßlumina zu schließen. Man darf wohl vollständig den Erörterungen von Dastre und Morat (1879) beistimmen, die Lewaschew (1882, S. 39) folgendermaßen reproduziert hat.

„Nach der einen Methode werden die Schwankungen der Gefäßlumina durch die Temperaturveränderungen des betreffenden Körperteils bestimmt, nach der andern durch die Veränderungen des Blutdrucks. Die erste dieser Methoden, die am allerhäufigsten bis jetzt angewandt wurde, ist in der Neuzeit einer scharfen Kritik von Dastre und Morat unterzogen worden. Die letzteren Autoren sprechen dieser Methode jede Bedeutung ab, weil ihrer Meinung nach die erhaltenen Daten bei weitem nicht den wirklichen Gefäßluminaveränderungen entsprechen, sondern weit mehr von Nebenbedingungen herrühren, nämlich von der Temperatur des umgebenden Mediums; daß ferner kurzdauernde Luminaschwankungen nicht von wahrnehmbaren Temperaturveränderungen begleitet werden, und es außerdem schwer sei, den Thermometer während der ganzen Dauer des Versuchs unverrückbar, zwischen den Zehen der tierischen Pfote zu befestigen.“

Lewaschew wendet sich dann gegen diese Überlegungen von Dastre und Morat, die aber in der Hauptsache sicher das Richtige treffen. Man wird wohl unter allen Umständen jetzt versuchen müssen, durch direkte Mittel über die vasomotorischen Wirkungen an den Gefäßen ins klare zu kommen. Die Beobachtung der Temperaturveränderung, die in diesem Fall eintritt, dürfte viel mehr ein Mittel sein, um die Leistungen der Temperatur regulierenden Apparate an den verschiedenen Körperteilen festzustellen. Ich erwähne hier die Arbeiten, in denen die Temperaturmessung als ein Mittel zur Feststellung der Vasomotorenwirkung benutzt wurde. Es sind die Untersuchungen von Kendall und Luchsinger (1876), Grützner und Heidenhain (1878), Werziloff (1896), und Spalitta et Consiglio (1897).

Dastre et Morat 1879. De l'innervation des vaisseaux cutanés. (Chauveaus Labor.) Arch. d. physiol. norm. et pathol., p. 393.

Grützner und Heidenhain 1878. Über die Innervation der Muskelgefäße. Pflügers Archiv, 16, S. 1.

Kendall und Luchsinger 1876. Zur Innervation der Gefäße. (Physiol. Labor. in Zürich.) Pflügers Arch., XIII, S. 197.

Lewaschew 1882. Versuche über die Innervation der Hautgefäße. Pflügers Arch. 28, S. 389.

Spalitta et Consiglio 1897. Les vaso-moteurs des membres abdominaux. (Physiol. Labor. Palermo.) Arch. ital. d. biol., XXVIII, p. 231.

Werziloff 1896. Zur Frage über die vasomotorische Funktion der hinteren Wurzeln. Zentralbl. f. Physiol., X, S. 194.

Kapitel 50.

Die respiratorischen Schwankungen des Blutdrucks.

Die Versuche zur Aufklärung der Gründe für die respiratorischen Schwankungen erörtere ich hier nur so weit, als sie ein besonderes technisches Interesse bieten. Seit den Untersuchungen von Poiseuille (1855) ist diese Frage, die in der bekannten Abhandlung von Ludwig und Einbrodt (1860) zum ersten Male konsequent behandelt worden ist, von einer Reihe von Untersuchern durch Modellversuche zu entscheiden versucht worden. Ich folge hier in meiner Darstellung der Schilderung von Tigerstedt in den

Ergebnissen der Physiologie 1903, die ich durch keine bessere ersetzen könnte (S. 577): „In einer teilweise aufgeblasenen, teilweise zusammengefallenen Lunge injizierte Poiseuille erstarrende Massen und bemerkte bei der mikroskopischen Untersuchung, daß die Lungenkapillaren im ersten Falle länger und schmäler als im zweiten waren. Auch machte er Versuche mit künstlicher Strömung durch aufgeblasene und zusammengefallene Lungen. Die Flüssigkeit wurde unter einem, dem Pulmonalisdruck etwa entsprechenden Druck (14 bis 15 mm Hg) injiziert. Durch eine mäßig aufgeblasene Kaninchenlunge strömten 3 ccm in 1′ 59″, durch die stark aufgeblasene Lunge in 2′ 19″, während dieselbe Flüssigkeitsmenge in nur 1′ 20″ die zusammengefallene Lunge passierte.“ Die Beobachtungen von Poiseuille sind vollkommen korrekt. Nur hat er nicht beachtet, daß die Druckverhältnisse während der Respiration des lebenden Warmblüters andere sind, als die von ihm im Modell eingehaltenen, daß bei dem lebenden Tier die Inspiration durch Saugen bewirkt wird usw. „Erst Quincke und Pfeiffer (1871) nahmen es sich vor, die Blutströmung auch bei Lungen zu untersuchen, deren Volumveränderungen durch Ansaugung bewerkstelligt wurden. Bei der durch einen negativen Pleuradruck erweiterten Lunge konstatierten sie eine größere Stromgeschwindigkeit als bei der kollabierten, und zwar war diese Geschwindigkeit um so größer, je stärker die Ausdehnung der Lunge.“ In ähnlicher Weise stellten Funke und Latschenberger (1877) ihre Versuche an: Die Lunge und das Herz (H und L) werden in einen künstlichen Thorax (A) gesetzt, die Pulmonalarterie wird mit defibriniertem Blut von einer Druckflasche (G) gespeist. Der über dem Niveau der Flüssigkeit befindliche Luftraum steht mit dem Thorax durch J in Verbindung. Der Ausfluß des Blutes aus dem linken Vorhof aus B über E in den Thoraxraum wird gemessen. Unter diesen Bedingungen begünstigt eine durch Verdünnung der Luft im Thoraxraum bewirkte Ausdehnung der Lungen den Ausfluß, während eine Ausdehnung, die durch das Aufblasen der Lungen bewirkt wurde, die Pulmonalzirkulation verringert. (Schäfers Textbook, II, S.126, Abbildung.) Quincke und Pfeiffer, und ebenso Funke und Latschenberger, weiter Bowditch und Garland (1879) vertraten noch die Ansicht, trotz des Resultates ihrer Versuche, daß sich die Lungengefäße bei der natürlichen Inspiration verengern. Die gegenteilige Ansicht stützte d'Arsonval (1877) mit seinen Versuchen (S. 522): „Er ließ bei einem eben getöteten Hunde aus einer Mariotteschen Flasche

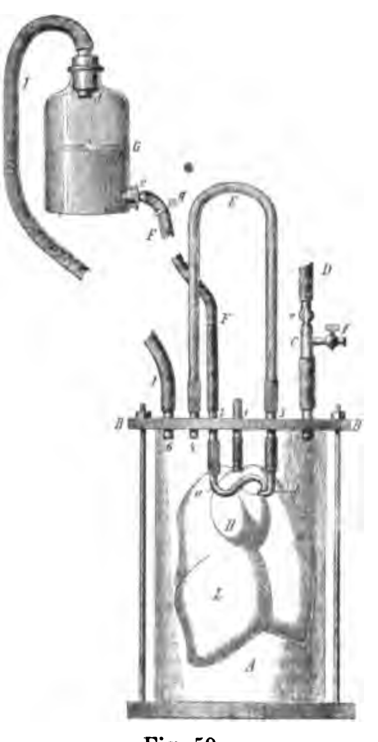


Fig. 59.
Künstliche Zirkulation durch die Lunge nach Funke und Latschenberger.

defibriniertes Blut in die vena cava inferior strömen, und maß die Blutmenge, welche aus der Bauchaorta wieder abgeführt wurde. Durch Ziehen am Zwerchfell bewirkte er die Inspiration und sah alsdann das Abfließen aus der Aorta zuerst abnehmen, und nachher, wenn das Zwerchfell in In-

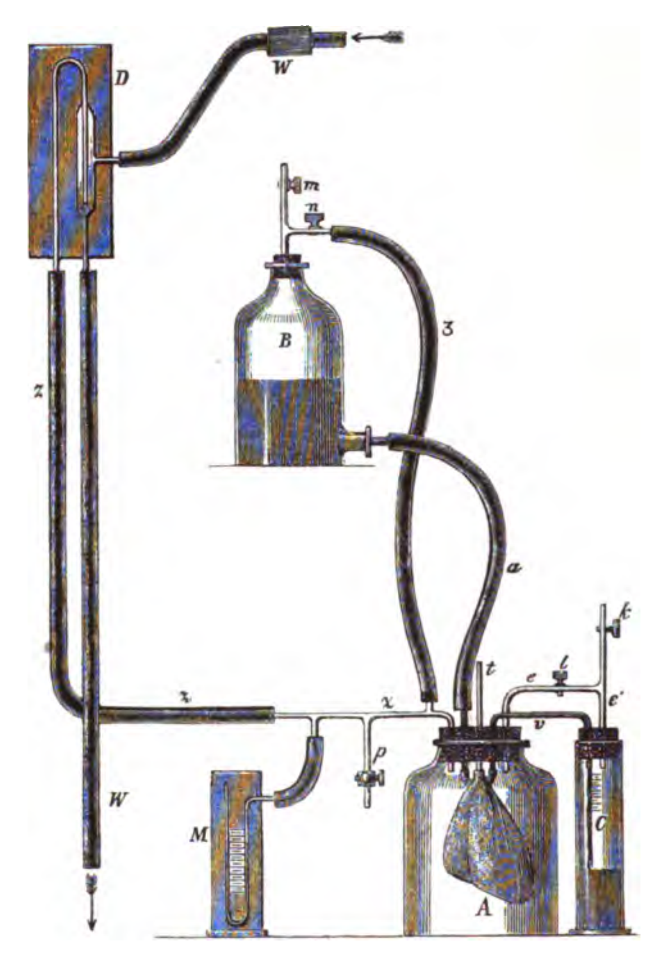


Fig. 60.

Künstliche Zirkulation durch die Lunge nach de Jager. a Verbindung des Druckgefäßes B mit der Pulmonalarterie. v Verbindung des Meßzylinders C mit dem linken Vorhof. A künstlicher Thorax. z seine Verbindung mit einer Bunsenschen Pumpe.

spirationsstellung gehalten wurde, zunehmen. Das Blut strömte also bei der Inspiration leichter durch die Lungen."

Mislawsky (1878) „stellte Versuche über die Blutbewegung in den Lungen bei verschiedenen Phasen der Atmung an ausgeschnittenen und nichtausgeschnittenen Lungen des Hundes an, in denen defibriniertes Blut unter konstantem Drucke zirkulierte. Die Blutgeschwindigkeit wurde durch die in der Zeiteinheit aus den Lungenvenen ausfließenden Blutvolumina bestimmt,

welche vermittels der eigens dazu eingerichteten Czermakschen Wippe graphisch registriert wurden.“ (Referat von Hermanns Jahresbericht.) Auch Mosso (1881) verwendete einen Apparat für die künstliche Durchblutung der Lungen.

Die eingehendsten Versuche rühren von de Jager (1879) her. Er konstruierte einen Apparat (S. 484, s. Fig. 60), mit dem es möglich ist, die verschiedenen Druckbeziehungen, die zwischen dem Thoraxraum und dem Druck in den gesamten Lungengefäßen bestehen, in beliebiger Weise zu regulieren. Auch wiederholte er die Versuche von Funke und Latschenberger unter besonderen Vorsichtsmaßregeln. Ferner stellte de Jager denselben Versuch (1882) wie d'Arsonval an. Er beobachtete nämlich an dem verendenden oder toten Tier die Veränderungen des Drucks in einem durch Ligaturen der Bauchgefäße usw. beschränkten Kreislauf infolge der Respiration, die durch passive Zwerchfellbewegungen erreicht wurde.

In anderer Weise wiesen Heger und Spehl (1881) die größere Weite der Lungengefäße bei der natürlichen Inspiration nach:

Beim Kaninchen wird im dritten Interkostalraum das Perikardium bloßgelegt und geöffnet, und ein starker Ligaturfaden über das Herz gestreift und locker um die großen Gefäßstämme gelegt. Um ferner das Herz unter dem normalen negativen Druck zu erhalten, wird ein gefenstertes Rohr in den Herzbeutel eingeführt, das mit einem Aspirator und einem Manometer verbunden ist und gelinde Aspiration und zugleich Verschluß der Öffnung bewirkt. Das Rohr ist mit Ösen versehen, durch die der Faden geleitet wird, und dient so zugleich als Ligaturstäbchen. Nachdem sich das Tier beruhigt hat, wird plötzlich auf der Höhe der In- oder Exspiration die Ligatur angezogen, nach dem alsbald erfolgenden Tode des Tieres die Lungen herausgenommen und ihr Blutgehalt im Verhältnis zu der Gesamtblutmenge des Körpers kolorimetrisch bestimmt. Es ergab sich, daß sogar in dem Falle, wenn in der Perikardialhöhe ein negativer Druck von 5—10 mm Hg hergestellt worden war, während der Inspiration $^1/_{12}$ bis $^1/_{13}$ der ganzen Blutmenge sich in den Lungen befindet, während der Exspiration dagegen nur $^1/_{15}$ bis $^1/_{18}$. Aufblasen der Lungen von der Luftröhre aus vermindert den Blutgehalt bis auf $^1/_{60}$.

In ähnlicher Weise beobachtete Plumier (1902) beim Hunde, daß die Lungen bei der Inspiration $^1/_9$ und bei der Exspiration $^1/_{11}$ der gesamten Blutmenge des Körpers enthalten.

d'Arsonval 1877. Recherches théoretiques et expérimentales sur le rôle de l'élasticité du poumon dans les phénomènes de la circulation. Thèse. Paris.

Bowditch and Garland 1879. The effect of the respiratory movements on the pulmonary circulation. Journ. of physiol., II, p. 91.

Funke und Latschenberger 1877. Über die Ursachen der respiratorischen Blutdruckschwankungen im Aortensystem. Pflügers Arch., XV, S. 405.

Heger 1880. Recherches sur la circulation du sang dans les poumons. Bruxelles 1880.

Heger et Spehl 1881. Recherches sur la fistule péricardiaque chez le lapin. Ligature des vaisseaux de la base du cœur pendant la respiration naturelle. Évaluation de la quantité de sang contenue dans les poumons. Arch. d. biologie, II, p. 153.

de Jager 1879. Über den Blutstrom in den Lungen. (Physiol. Institut zu Leiden.) Pflügers Arch., XX, S. 426.

de Jager 1882. Die Lungenzirkulation und der arterielle Blutdruck. Pflügers Arch., XXVII, S. 152.
Ludwig 1847. Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensystem. Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 242.
Ludwig und Einbrodt 1860. Berichte d. Wiener Akad., XI, S. 361.
Mislawsky 1878. Über die Blutbewegung in den Lungen bei verschiedenen Phasen der Atmung. Protok. d. Ges. d. Naturf. in Kazan.
Mosso 1881. Sulla circolazione del sangue nel cervello dell' uomo. Ricerche sfigmografiche. Arch. p. l. science med., V, p. 44, 97.
Plumier 1902. Nouvelles recherches sur la physiologie de la circulation pulmonaire. Bull. d. l. classe des sciences de l'acad. de Belgique, p. 359.
Poiseuille 1855. Recherches sur la respiration. C. R. d. l'acad. des sciences, T. 41, p. 1072.
Quincke und Pfeiffer 1871. Über den Blutstrom in den Lungen. Arch. f. Anat. u. Physiologie, S. 90.

Kapitel 51.

Der kleine Kreislauf.

Der Druck in der rechten Kammer (oder in dem rechten Vorhof) läßt sich verhältnismäßig einfacher als im linken Herzen registrieren. Solche Versuche hat schon E. Hering (S. 206) in origineller Weise durchgeführt. Über die neueren Methoden ist in dem Kapitel über die Druckmessung im Herzen (Kap. 35, S. 205) berichtet. Ich verweise hier auf die Untersuchungen von Chauveau und Marey (1863), Badoud (1874), Talma (1882) (eigenartige, aber kaum vorteilhafte Herzsonde S. 322). Weiter erinnere ich an die Arbeiten von Goltz und Gaule, die ihr Maximum- und Minimum-Hg-Manometer benutzt haben, ähnlich wie dies später de Jager (1883) und Tigerstedt (1902) ausgeführt haben.

Die Bestimmung des Drucks in der rechten Kammer hat ihre Vorzüge vor der Messung des Drucks in der Pulmonalarterie hauptsächlich darin, daß der Thorax nicht eröffnet zu werden braucht, so daß also die für die Verhältnisse des kleinen Kreislaufs so wichtigen normalen Drücke in dem Thorax unverändert bleiben. Bei der Methode von Fredericq (siehe unten) werden zum mindesten die Drücke in dem Perikardialsack gestört. Man müßte denn nach der Methode von Heger und Spehl (1881, siehe Kap. 50, S. 295) den negativen Druck in der Perikardialhöhle wiederherstellen. Die Methode ist aber sehr kompliziert und muß erst ihre kritische Würdigung durch systematisch angestellte Versuche erfahren.

Auf diese Weise ist es aber nicht möglich, die Druckschwankungen zu registrieren, die während der Austreibungsperiode (nach Gad und Cowl 1888 Entleerungszeit v. Frey „Untersuchung des Pulses" 1892 S. 90; siehe auch Roy 1889), stattfinden, und auf diese kommt es an, wenn man die Leistungen des Herzens für den Kreislauf beurteilen will. Erst dann, wenn man in der Kammerdruckkurve oder auf andere sichere Weise die Zeichen für den Zeitpunkt des Klappenschlusses ausfindig macht, wäre es denkbar, daß man aus der Ventrikeldruckkurve die Druckveränderung aussonderte, die auf die Austreibungsperiode fällt.

Die Methoden zur Bestimmung des Drucks in der Pulmonalarterie beschreibe ich im folgenden teilweise mit den Worten Tigerstedts (Ergebnisse der Physiologie 1903, S. 534):

„Bei seinen Versuchen über den Druck im Lungenkreislauf eröffnete Beutner (1852) nur die linke Hälfte der Brusthöhle; der rechte Pleurasack und der Herzbeutel wurden überhaupt möglichst unverletzt gelassen; trotzdem wurde das Tier künstlich ventiliert. Als Kanüle wurde eine einfache silberne, rechtwinkelig gebogene Röhre benutzt. Sie wurde in den linken Ast der Lungenarterie eingesetzt und zwar so, daß bei Kaninchen und Katzen der ganzen linken Lunge, beim Hunde dem größten Teil derselben das Blut entzogen wurde.“

Die Operation beschreibt Beutner selbst folgendermaßen: S. 101, 102:

„Art und Ort der Einsetzung der Kanüle und störende Folgen derselben. Die Kanüle, deren wir uns bedienten, um sie in die arteria pulmonalis einzusetzen, war eine einfache, silberne, gebogene Röhre, ganz leicht und dünn gearbeitet. Das Lumen der Kanüle am Einsatzpunkte betrug bei Kaninchen und Katzen 1,8 mm Durchmesser, bei Hunden 2,2 mm, am Orte der Anheftung an das Röhrensystem 5,5 mm; überhaupt ist es notwendig, die Kanüle so weit wie nur immer möglich, fertigen zu lassen, um sie nach der hier so leicht erfolgenden Gerinnung des Blutes rasch und sicher reinigen zu können. Die Biegung geschah unter einem rechten Winkel; der Ast derselben, welcher in die Lungenarterie eingeführt wurde, besaß eine Länge von 11,5 mm, der andere, welcher mit dem Manometer in Verbindung stand, war 40 mm lang. Diese Kanüle hat den Vorteil, daß man ziemlich tief in der Brusthöhle gelegene Gefäße mit dem Manometer in Verbindung bringen kann, ohne dieselben zu zerren.

Die Kanüle haben wir nun in allen Fällen in den linken Ast der arteria pulmonalis eingesetzt und zwar so, daß wir bei Kaninchen und Katzen der ganzen linken Lunge, beim Hunde dem größten Teil derselben das Blut entzogen. Die Einsetzung der Kanüle erfordert bei der Schwierigkeit der Handgriffe und bei der Schnelligkeit, mit der sie geschehen müssen, besondere Übung.

Um leicht zur arteria pulmonalis gelangen zu können, steht der Operierende auf der rechten Seite des Tieres und hebt die linke Lunge aus dem Brustkasten hervor, die er alsdann mit der linken Hand über das Herz und die linke Brusthälfte herüberzieht und fixiert; damit die Lunge nicht wesentlich durch ihre große Ausdehnung hindert, machten wir gewöhnlich am Rande einen kleinen Einschnitt, um sie etwas zu entleeren. Alsdann isoliert man mit feinen Pinzetten die Arteria von dem sie umgebenden Zellgewebe; hierbei ist es kaum zu vermeiden, bei dem Herüberragen des Herzens an dieser Stelle, einigen Druck auf dasselbe auszuüben, um freiern Zutritt zur Arterie zu haben. Ist die Arterie möglichst weit isoliert, so muß man, um die Kanüle ohne Blutverlust einsetzen zu können, wie natürlich den Blutstrom vom Herzen aus abhalten, und um dies zu bewirken, machten wir verschiedene vergebliche Versuche, mit schließbaren Pinzetten und allen möglichen Arten von Schleifen. Am besten und leichtesten geschieht es, bei der Beschränktheit des Raumes und der Dünnheit der Arterienwandungen, mit einem ganz einfachen, selbst verfertigten hölzernen Ligatur-

stabe, da alsdann nach Befestigung der Kanüle an das Röhrensystem die Ligatur leicht gelöst werden kann, und auf diese Art die Arterie am wenigsten verletzt wird.

Um sodann die Kanüle einzuführen, welche vorher mit kohlensaurem Natron gefüllt wurde, ist es zweckmäßig, nur eine kleine Öffnung in die Arterie zu machen, weil die weit geöffnete und isolierte Arteria der andrückenden Kanüle leicht ausweicht, und somit eine größere Öffnung statt die Schwierigkeit der Einfügung der Kanüle zu heben, sie mehrt. Ist die Kanüle nun eingeführt und eingebunden, so folgt einer der schwierigsten Momente, nämlich die Feststellung der Kanüle, welche durch einen Apparat nicht möglich ist, da das Tier und die Lungen zu vielen Bewegungen ausgesetzt sind. Um sie zu fixieren, ist ein geübter Gehilfe nötig, welcher sich mit nichts anderem beschäftigen darf, und immer genau acht haben muß, daß die Kanüle in der gehörigen Richtung steht und die Arterie keinen Druck von den Lungen zu erleiden hat."

Aus der Beschreibung von Openchowski (1882) gebe ich hier ebenfalls einen Auszug:

S. 255, 256. „Die Einführung der Kanüle in die Lungenarterie erfolgte so, daß nach Lospräparierung der darüber liegenden Muskeln ein Fenster in die linke Toraxwand gemacht wurde, entweder, indem ich bloß einen Einschnitt zwischen der 4. und 5. Rippe machte, oder so, daß ich eine Rippe, dann meistens die 5., teilweise resezierte. Die Kanüle wurde dann in jenen Ast der Lungenarterie eingebunden, der zum linken oberen Lappen führt, welches Gefäß jederzeit sehr leicht aufzufinden und zu erreichen ist.

In jenen Versuchen, wo das Rückenmark gereizt werden sollte, wurden zwei nadelförmige Elektroden aus Stahl von ungefähr 6 cm Länge, die mit einem feinen Schraubengewinde versehen waren, an zwei in der Längsachse des Tieres hintereinander gelegenen Punkten durch die Knochen der Wirbelsäule hindurch in das Rückenmark gebohrt, so daß ihre Spitzen, das Mark durchdringend, in die gegenüberliegenden Wirbelkörper eingeschraubt wurden, wodurch eine sehr gute Fixierung derselben möglich wurde. Über die Durchschneidung des Brustmarks an seinem unteren Ende ist nichts zu bemerken, als daß dieselbe nach Eröffnung des Wirbelkanals vorgenommen wurde.

Sollten die Nervi splanchnici gereizt oder durchschnitten werden, so öffnete ich zwischen der 11. und 12. Rippe durch einen kleinen Einschnitt die Brusthöhle, führte mit einer Aneurysmennadel einen Faden um dieselben, worauf sie entweder unmittelbar über ihrer Durchtrittstelle durchs Zwerchfell durchschnitten oder aber abgebunden, zentralwärts von der Ligatur durchschnitten und dann die peripheren Stümpfe mit gewöhnlichen Hartkautschukelektroden armiert wurden.

Wurde die Aorta unterbunden, so geschah dies in der Regel von der zum Zweck der Einbindung in die Pulmonalarterie gemachten Thoraxwunde aus mittels eines Ligaturstäbchens. Die Vena cava wurde von einem auf der rechten Seite des Thorax gemachten kleinen Einschnitte aus aufgesucht."

„In wesentlich derselben Weise sind die meisten der folgenden Autoren zuwege gegangen (Hofmokl 1875, Lichtheim 1876, Popper 1888, Brad-

ford und Dean 1889 und 1894, François Franck 1895/96, Bayet 1892, Velich 1898, Wood jr. 1901). Henriques (1892) stellte die Lungenarterie mit dem Manometer in Verbindung, indem er, nach genügender Eröffnung der linken Pleurahöhle, ein Stilett von schmalem Kaliber in den Hauptstamm der A. pulmonaris stieß. Daß absolut keine Blutung entstand, lag in der Elastizität der Gefäßwand und in dem in der Lungenarterie vorhandenen niedrigen Blutdruck.

Um den Übelstand, der darin liegt, daß während des Versuches die eine Pleurahöhle wenigstens eröffnet werden muß, und daß also das Tier, wenn es noch selbständig atmet, nur die eine Lunge dazu benutzen kann, zu vermeiden, hat Fredericq (1886) an Hunden durch einen einzigen linearen Schnitt die eine Hälfte des Brustkastens soweit eröffnet, daß er an den intrathorakalen Organen alle notwendigen Manipulationen, wie Einbinden von Kanülen usw. vornehmen kann. Nach beendigter Operation legt er die Bein-Muskel-Lambeaux gegeneinander und deckt sie mit der vorher zurückgeschlagenen Haut. Gerade im Augenblick des Schließens der Brustwand werden die Lungen von der Trachea aus aufgeblasen, die Luft entweicht aus der geöffneten Pleurahöhle und diese kommuniziert mit der Umgebung nur durch die Röhren, welche die Kanülen mit den Manometern verbinden. Die kurz vorher zusammengefallene Lunge nimmt jetzt wie normal an der Respiration teil. Nach dieser Methode haben Nolf (1903) und Plumier (1902, ebenso 1904, 1905) gearbeitet; die Kanüle wurde in der Regel in den oberen Ast der linken Lungenarterie eingeführt."

Chauveau und Faivre (1856) haben einen Trokar, der mit einem Manometer verbunden war, direkt in die Pulmonalarterie des Pferdes durch einen Interkostalzwischenraum, ohne den Thorax zu öffnen, eingeführt. Sie haben also unter ganz normalen Bedingungen gearbeitet. Die Methode ist aber nur bei großen Tieren anwendbar.

„Der erste, welcher bei normal atmenden Tieren durch eine seitenständige Kanüle den Blutdruck in der Lungenarterie bestimmte, ohne irgend welchen Teil der Lungen vom Kreislauf auszuschalten, war Knoll (1888). Er machte seine Versuche ausschließlich an Kaninchen und beschreibt seine Methode folgendermaßen:

Nach Bloßlegung der Brustmuskulatur wird das Sternum im Bereiche der ersten zwei bis drei Rippen gespalten. Das in seinem kopfwärts gelegenen Abschnitte hierdurch freigelegte Perikard wird so weit eröffnet, als notwendig ist, um die A. pulmonalis bis zu ihrem Ursprunge bloßzulegen. Hierauf wird mittels einer kleinen Klammer, deren federnde Branchen halbkreisförmige beim Schluß der Klammer zum Ringe sich zusammenfügende Ansätze besitzen, eine mittels einer stumpfen Pinzette erhobene Falte der ventralen Wand der Arterie gepackt und durch Verrückung eines ringförmigen Schiebers die Klammer geschlossen. Sowohl die Klammer selbst als die Leitstange des Schiebers sind mit Griffansätzen versehen, die behufs Aufnahme der Kanüle ringförmig durchlöchert sind. Die Leitstange des Schiebers gleitet in einem Ausschnitte des Griffansatzes der Klammer. Die Kanüle, absatzförmig sich verjüngend, ist an der engeren Mündung schnabelförmig geformt, zugeschärft, mit einem Seitenrohre zur Verbindung mit dem Manometer versehen und mit einem Trokar armiert. Vor dem

Einführen in die Arterie wird die Kanüle vom Manometer aus unter Bestimmung der Abszisse mit kohlensaurem Natron gefüllt, dann, bei Abschluß des Manometers, durch die ringförmigen Öffnungen an den Griffansätzen zur ringförmigen Klammer vorgeschoben und die in dieser eingeschlossene Falte der A. pulmonalis durchstoßen, der Trokar herausgezogen, ein am Hauptrohre der Kanüle angebrachter kurzer Kautschukschlauch mittels einer kleinen Klemmpinzette verschlossen, und dann der Hahn, der das Manometer abschließt, geöffnet."

„Soviel ich (Tigerstedt) diese Beschreibung verstehe, muß die Lungenarterie durch die von Knoll benutzte Kanüle in einem gewissen Grade verengt werden, obgleich die Stenose, wie es aus der Darstellung Knolls hervorgeht, nur eine verhältnismäßig geringe sein dürfte. Ein anderer Übelstand besteht darin, daß, wie es Knoll selbst bemerkt, die Technik ziemlich schwer ist, so daß man darauf bereitet sein muß, nicht wenige Tiere zu verlieren."

„In Tigerstedts Laboratorium hat Mellin (1904) eine Methode ausgebildet, um den Hauptstamm der Lungenarterie mit dem Manometer zu verbinden. Die von Mellin benutzte Kanüle ist eine gewöhnliche Ludwigsche (Seitendruckkanüle), deren Platte, dem Verlauf der Lungenarterie entsprechend, in zwei Richtungen, von vorn nach hinten, sowie von Seite zur Seite, gekrümmt ist. Nach Eröffnung des Brustkastens und des Perikards wird um die Wurzel der Lungenarterie, jedoch ohne die Semilunarklappen zu lädieren, eine Klemme angelegt, und also der Kreislauf für eine kurze Zeit aufgehoben. Dann wird in die Arterie eine kleine in der Längsrichtung verlaufende Öffnung mittels einer feinen Schere geschnitten, die Platte der Kanüle hineingeführt und die äußere Platte zugeschraubt. Letzteres erfolgt unter Anwendung eines Bajonettschlosses äußerst schnell. Die provisorische Ligatur wird gelüftet und innerhalb weniger Sekunden ist die Zirkulation wieder in vollem Gange. Bei kurarisierten Tieren ist diese Methode außerordentlich einfach und scheitert nur in seltenen Ausnahmefällen. Auch bei natürlich atmenden Tieren bietet sie nur insofern Schwierigkeiten dar, als die beim Aufheben des Kreislaufes erscheinenden Erstickungskrämpfe zuweilen das Einführen der Kanüle vereiteln.

Die so leicht eintretende Gerinnung des venösen Blutes (siehe oben Beutner S. 297) vermeidet Mellin dadurch, daß er die Kanüle mit einer Wachsschicht überzieht, indem er eine Ätherlösung von Wachs durch die vorher gut gereinigte Kanüle saugt."

Die für diese Maßnahmen nötige Eröffnung des Thorax wird in der Abhandlung von Erikson (1907) genauer beschrieben (siehe das betr. Kap. in Teil III).

Nach einer Bemerkung im Zentralblatt f. Physiol. Bd. 21 hat Burton-Opitz (1907) „das Verhalten des Blutstroms im kleinen Kreislauf vermittels der von ihm konstruierten Stromuhr studiert". (Vielleicht Autorreferat.)

Bedeutungsvoll für die Methodik ist noch die Beobachtung Tigerstedts (1903, S. 273 und 1907), daß die Abbindung eines Lungenflügels oder die Unterbindung der Gefäße einer Lunge nur eine minimale Druckveränderung in dem Pulmonalkreislauf oder nur eine geringe Verringerung des Sekundenvolumens hervorruft. Über die Versuche Landgrafs siehe Kap. 62, S. 328.

Von den Versuchen, die zur Aufklärung der Blutströmung in den Lungen dienen können, erwähne ich Tigerstedts Beobachtung, daß eine einem natürlich atmenden Kaninchen, in eine Halsvene infundierte Farbstofflösung den Körper sehr gleichmäßig, die Lungen aber sehr ungleichmäßig färbt. Die Lunge wird also ungleichmäßig vom Blut durchströmt.

Badoud 1874. Über den Einfluß des Hirns auf den Blutdruck in der Lungenarterie. Inaug.-Dissert., Würzburg.

Bayet 1892. La circulation pulmonaire. Bruxelles.

Beutner 1852. Über die Strom- und Druckkräfte des Blutes in der Arteria und Vena pulmonalis. Zeitschr. f. rat. Med. N. F. II, S. 97.

Bradford and Dean 1889. The innervation of the pulmonary vessels. Collected papers from the physiol. labor. Univ. Coll. London. Proceed. Roy. Soc. XLV. p. 369.

Bradford and Dean 1894. The pulmonary circulation. (Physiol. Labor. Univ. Coll. London.) Journ. of physiol. XVI, p. 34.

Burton-Opitz 1907. Üper die Vasomotoren des Lungenkreislaufes. Zentralbl. f. Physiol. 21, S. 95.

Chauveau et Faivre 1856. Nouvelles recherches expérimentales sur les mouvements et les bruits normaux du coeur. Gaz. méd. No. 24, 27, 30, 37.

Cowl und Gad 1888. Kardiographie beim Frosch. Zentralbl. f. Physiol. II. S. 265.

Erikson 1907. Zur Kenntnis des kleinen Kreislaufes bei der Katze. Skand. Arch. Physiol. 19, S. 46,

François Franck 1895. Nouvelles recherches sur l'action vaso-constrictive pulmonaire du grand sympathique. (Labor. de physiol. pathol. des hautes études.) Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 744 und 816.

François Franck 1896. De la vaso-constriction pulmonaire réflexe. Arch. d. physiol. norm. et pathol. p. 178.

Fredericq 1886. Procédé opératoire nouveau pour l'étude physiologique des organes thoraciques. Trav. du labor. 1, p. 55; auch Arch. d. Biologie VI, S. 111.

Fredericq 1892. Über die Zeit der Öffnung und Schließung der Semilunarklappen. Zentralbl. f. Physiol. VI, S. 257.

Fredericq 1904. L'atriotomie temporaire, procédé nouveau d'exploration des fonctions du coeur. (Instit. de physiol. Liège.) Arch. intern. de physiol. 1, p. 83.

Heger et Spehl 1881. Siehe Kap. 50.

Henriques 1892. Untersuchung des Blutdruckes im Lungenkreislauf. Skandin. Arch. f. Physiol. 4, S. 229.

Hering 1850. Arch. f. physiol. Heilkunde. Zit. n. Beutner.

Hofmokl 1875. Untersuchungen über die Blutdruckverhältnisse im großen und kleinen Kreislaufe. Med. Jahrb., Wien 1875, S. 314.

de Jager 1883. Über die Saugkraft des Herzens. Pflügers Arch. 30, S. 491.

Knoll 1888. Der Blutdruck in der Arteria pulmonalis bei Kaninchen und seine respiratorischen Schwankungen. Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math.-naturw. Kl. 3, Abt. XCVII, S. 208.

Knoll 1890. Über Wechselbeziehungen zwischen dem großen und kleinen Kreislaufe. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien 99, Abt. 3, S. 5.

Lichtheim 1876. Die Störungen des Lungenkreislaufs und ihr Einfluß auf den Blutdruck. Berlin.

Mellin 1904. Über die Einwirkung einiger Gifte auf den kleinen Kreislauf. (Physiol. Labor., Helsingfors.) Skandinav. Arch. f. Physiol. 15, S. 147.

Nolf 1903. Action des injections intraveineuses de propeptone sur la pression dans l'artère et la veine pulmonaire. Mém. cour. et autres mém. pub. par l'Acad. des scienc. de Belg.

Openchowski 1882. Über die Druckverhältnisse im kleinen Kreislaufe. (Labor. f. exper. Pathol., Wien.) Pflügers Arch., XXVII, S. 233.

Plumier 1902. Nouvelles recherches sur la physiologie de la circulation pulmonaire. Bull. de la classe des scienc. de l'Acad. de Belgique, p. 359.
Plumier 1904. La circulation pulmonaire chez le chien. (Institut de physiol. Liège.) Archiv. intern. d. physiol. 1, p. 176.
Plumier 1905. Action du seigle ergoté et de l'ergotinine sur la circulation cardio-pulmonaire. Journ. Physiol. Pathol. gén. Paris, T. 7. p. 13.
Popper 1888. Über die physiologische Wirkung des Strophantins. Med. Zentralblatt, S. 418.
Talma 1882. Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Respiration auf die Zirkulation des Blutes. Pflügers Arch. XXIX, S. 311.
Tigerstedt 1902. Über den Lungenkreislauf. Verhandlungen in Helsingfors.
Tigerstedt 1902. Über den Lungenkreislauf. (Physiol. Labor., Helsingfors.) Skandin. Arch. f. Physiol. 14, S. 259.
Tigerstedt 1907. Neue Untersuchungen über die von dem linken Herzen herausgetriebene Blutmenge. Skand. Arch. f. Physiol. 19, S. 1.
Tigerstedt 1907. Über den Kreislauf nach Bindung der linken Lungenarterie. Skand. Arch. f. Physiol. 19, S. 231.
Velich 1898. Über die Einwirkung des Nebennierenextraktes auf den Blutkreislauf. Wiener med. Wochenschr., S. 1257.
Wood 1901. A physiological study of the pulmonary circulation. (Labor. of pharmac. dynamics Pennsylvania.) Amer. journ. of physiol. VI. p. 283.

Kapitel 52.

Der Einfluss der Schwere und der Körperhaltung auf den Kreislauf.

Von den Untersuchungen über den Einfluß der Schwere oder der Körperhaltung auf den Kreislauf ist methodisch von Interesse die Art, wie die Tiere gedreht wurden, um eine verschiedene Lage herzustellen. Hier muß vor allen Dingen die Frage entschieden werden, um welche Achse das Tier gedreht werden muß, damit aus statischen Gründen keine Veränderung des Drucks in dieser Höhe stattfinden kann. Die mathematischen Untersuchungen von Hermann, niedergelegt in der Abhandlung von Wagner (1886), ergeben, daß für ein einfaches Modellsystem von Ballons usw. ein Indifferenzpunkt existiert, der so liegt, daß sich der hydrostatische Druck nicht ändert, wenn das Gefäßsystem um ihn gedreht wird. Für das verwickelte Gefäßsystem existieren zwei verschiedene Indifferenzpunkte für den Übergang in Kopf- und für denjenigen in Fußstellung. Nach Versuchen an Leichen wurde ermittelt, daß, wenn man das Tier um eine durch die Herzspitze gehende Achse dreht, die Druckveränderungen möglichst klein sind, und im entgegengesetzten Sinn bei dem Übergang in die Kopf- und in die Fußstellung verschiedenen Sinn haben: Bei Drehung aus der horizontalen Lage auf den Kopf sinkt das Manometer der Carotis und steigt dasjenige der Femoralis; und umgekehrt. Die Veränderungen betragen etwa 4 mm Hg. Um diese Achse wurde das Tier bei den Versuchen über den Einfluß der Lage auf den Kreislauf von Wagner gedreht. Eine ähnliche Achse benutzte Blumberg (1885).

Hill (1895 und 1896) und Hill und Barnard (1897) legen den statischen Verhältnissen eine geringere Bedeutung zu. Sie drehten bei ihren Versuchen

das Tier, dem von der Jugularvene und der Carotis aus Kanülen bis zur Vena cava superior und der Aorta zur Verbindung mit Manometern eingeführt waren, um eine Achse in dem Niveau der Öffnungen der Kanülen. Es ist ja zweifellos, daß der Effekt einer Veränderung der Lage des Tieres hauptsächlich von vasomotorischen Wirkungen herrührt. Aber doch erscheint es gerechtfertigt, das Verfahren von Hermann beizubehalten, damit die rein statischen Einflüsse möglichst ausgeschlossen werden.

Daß bei Nichtbeachtung der hydrostatischen Verhältnisse in der Anordnung der Manometer große Fehler entstehen können, hat Blumberg unter der Leitung von Hermann (1885) an den Untersuchungen von Cybulski (1879) und Friedmann (1882) nachgewiesen.

Außer diesen Untersuchungen existieren noch weitere, die sich mit dem Einfluß einer verschiedenen Haltung des Körpers oder von Körperteilen auf den Puls beschäftigen. Diese Beobachtungen haben kein besonderes methodisches Interesse. Es handelt sich meistens um Versuche bei dem Menschen über den Einfluß dieser Momente auf den Puls und seine Form. Die letzte Untersuchung auf diesem Gebiete rührt von Flaskamp (1907) her. Früher haben sich Marey (Cirkulation S. 438), Schapiro (1881) u. a. mit diesen Fragen beschäftigt. Angaben über die ältere Literatur finden sich noch bei Meuli-Hilty (1886, S. 343).

Eine neuere Untersuchung über den Einfluß der Gravitation bei verschiedenen Stellungen der Glieder auf den Blutdruck ist von Bröking (1907) ausgeführt worden. Die Gärtnersche Methode zur Feststellung des Venendrucks bei dem Menschen (siehe Kap. 43) beruht auf der Veränderung, die der Blutdruck an einer Stelle eines Gliedes durch seine wechselnde Haltung erfährt.

Blumberg 1885. Über den Einfluß der Schwere auf Kreislauf und Atmung. Pflügers Arch. 35, p. 467.
Bröking 1907. Ein Beitrag zur Funktionsprüfung der Arterien. Zeitschr. f. exper. Pathol. 4, p. 220.
Cybulski 1879. Über den Einfluß der Lage des Körpers auf den Blutdruck, den Puls und die Atmung. Militärärztl. Journ.
Flaskamp 1907. Der Radialpuls bei verschiedener Haltung des Armes. Dissertation, Gießen.
Friedmann 1882. Über die Änderungen, welche der Blutdruck des Menschen in verschiedenen Körperlagen erfährt. (v. Baschs Labor., Wien.) Wiener med. Jahrbücher 1882, p. 197.
Hill 1895. The influence of the force of gravity on the circulation of the blood. Journ. of physiol. XVIII, p. 15.
Hill 1896. Cerebral Circulation. London 1896.
Hill and Barnard 1897. The influence of the force of gravity on the circulation. Part. II, Sect. I, The action of the respiratory pump. Secktion II. The escape of the heart from vagal arrest. Secktion III. Te mean pressure of the vascular system. Journ. of physiol. XXI, p. 323.
Meuli-Hilty 1886. Das rationelle Schlafen. Pflügers Arch. 38, p. 339.
Schapiro 1881. Klinische Untersuchungen über den Einfluß der Körperstellung und Kompression peripherer Arterien auf die Herztätigkeit. Arzt, Red. Manassein. Bd. II, Nr. 10. 11, 13 und 30.
Wagner 1886. Fortgesetzte Untersuchungen über den Einfluß der Schwere auf den Kreislauf. (Physiol. Institut, Königsberg.) Pflügers Arch. 39, p. 371.

Kapitel 53.

Schwingungen des ganzen Körpers, veranlasst durch die Blutbewegung.

Zu verschiedenen Zwecken hat man versucht, die Bewegungen des Gesamtkörpers, die durch die Verlagerung der Blutmassen bei der Zirkulation hervorgebracht werden, aufzuschreiben. So hat Mosso (1896) die Bewegungen des Körpers aufgeschrieben, um psychische Eindrücke zu registrieren.

Henderson (1905) ist wohl der erste, der eine genauere mechanische Analyse dieser Bewegungen angebahnt hat. Die Person wird auf einer horizontalen Platte befestigt, die im wesentlichen nur in der Richtung der Körperlänge schwingen kann. Zu dem Zweck ist die Platte an vier Klavierdrähten aufgehängt. Um die Bewegung nur in der einen Richtung zwangsläufig zu gestalten, stemmen sich an die Seite der Platte zwei scharfe, 10 cm lange und 2 mm dicke Stahlnadeln an. Das eine geschärfte Ende ruht in Vertiefungen der Platte, die anderen geschärften Enden in konischen Vertiefungen des Gestells. Durch Veränderung des Betrages, um den die Platte von ihrer freien Lage nach der Seite gedrängt wird, kann die Schwingungsperiode der Platte verändert werden. Die Platte macht also in allen ihren Punkten kreisförmige Bewegungen, für die der Radius gleich der Länge der Nadel ist. Die Bewegungen werden durch eine eigentümliche Anordnung auf 100mal vergrößerndes Hebelsystem übertragen und durch dieses auf einer berußten Trommel aufgeschrieben. Die Kurven fallen ziemlich verschieden aus, entsprechen aber im ganzen dem, was man aus den Gesetzen über die Verlagerung des Schwerpunktes erwarten kann. Wenn sich das Blut kopfwärts bewegt, bewegt sich der Körper fußwärts usw.

Henderson 1905. (Vorläufige Mitteilung.) Amer. journ.. 13, p. XXV.
Henderson 1905. The mass-movements of the circulation as shown by a recoil curve. Americ. journ. of physiol., 14, p. 287.
Mosso 1896. Fear. (Englische Übersetzung der fünften italienischen Auflage von Loegh und Kilson, 1896.) Kap. V, Abschnitt III u. IV.

Kapitel 54.

Bestimmung der Kreislaufzeit.

In den Jahren 1829 und 1833 veröffentlichte Hering eine Methode, mit der die Zeit bestimmt werden sollte, die ein Partikelchen braucht, um durch den Kreislauf getrieben zu werden, die sogen. Kreislaufzeit. Er injizierte in die Jugularvene eines Pferdes eine Lösung von Ferrozyankalium und sammelte von der anderen Jugularvene Blutproben in Intervallen von fünf Sekunden. Sie wurden nach der Beendigung des Versuchs mit Eisenchlorid auf ihren Gehalt an Ferrozyankalium geprüft. Die ersten Spuren von Ferrozyankalium traten danach in 20—30 Sekunden auf. Von Poiseuille

1843) und Vierordt (1857) wurde diese Methode teilweise mit einigen Verbesserungen angewandt.

Hermann (1883) hat das Verfahren folgendermaßen modifiziert:

„Auf den 16 cm im Durchmesser haltenden Zylinder eines Baltzarschen Kymographion-Uhrwerks wird ein Bogen guten, eisenfreien Fließpapiers aufgespannt. Die in das peripherische Venenende eingebundene Glaskanüle wird so befestigt, daß sie dem Papier in der Nähe seines oberen Randes gegenüber mündet, ohne aber an demselben zu streifen. Das frei ausfließende Blut fließt auf dem Papier des rotierenden Zylinders ab und bildet auf demselben einen roten Streifen, dessen Höhe um so größer ist, je größer das Tier und je langsamer die Rotation des Zylinders. Die Rotationsgeschwindigkeit wird so gewählt, daß sicher ein Umgang des Zylinders für den Versuch ausreicht, d. h. das injizierte Salz noch vor Vollendung eines Umgangs im ausströmenden Blute erscheint.

Alles kommt darauf an, daß die Injektion der nötigen Salzmenge sehr rasch vollendet ist, und daß die Salzmenge so groß wie möglich ist. Es empfiehlt sich daher die Injektion einer möglichst konzentrierten Lösung. Da jedoch das von allen früheren Experimentatoren angewandte Ferrozyankalium als Kalisalz bei direkter Injektion in die Vene höchst verderblich auf die Tiere, namentlich auf kleinere wirkt und selbst raschen Herzstillstand hervorbringen kann, so wählte ich statt dessen Ferrozyannatrium, welches aus den Chemikalienhandlungen überall zu beziehen ist. Für Kaninchen werden 5 ccm einer 10 %igen Lösung in das zentrale Jugularisende rasch injiziert. Die Blutung aus dem peripheren Ende der Jugularis der anderen Seite muß schon vor der Injektion begonnen haben. Anfang und Ende der Injektion markiert ein Assistent mit Bleistift auf dem rotierenden Fließpapier über der Kanülenmündung.

Nach vollendetem Umlauf wird der Fließpapierstreifen vom Zylinder abgenommen und zum Trocknen aufgehängt. Die Dauer eines Zylinderumlaufs wird vor oder nach dem Versuch mit der Uhr genau bestimmt. Auf dem getrockneten Papier wird durch Anlegung eines Maßstabes eine Zentimeterteilung mit Bleistift dicht über der Blutspur aufgetragen und numeriert. Der Zeitwert jedes Zentimeters ergibt sich aus dem bekannten Umfange des Zylinders und der bekannten Umlaufsdauer.

Nun werden aus dem Blutstreifen mit einer reinen Schere Stücke ausgeschnitten, welche die ganze Höhe des Streifens und Längen von einem oder mehreren Zentimetern umfassen. Diese Probestücke werden dicht zusammengefaltet und in ein weites Probierglas, in welchem ein kleines Quantum destillierten Wassers zum Sieden gebracht ist, hineingeworfen, so daß das Papierpaketchen sofort ganz im siedenden Wasser untertaucht. Die Eiweißkörper des Blutes koagulieren sofort, und die im Wasser löslichen Bestandteile, darunter das etwa vorhandene Probesalz, lösen sich im Wasser auf. Man unterhält das Sieden noch kurze Zeit, läßt dann abkühlen, und gießt den flüssigen, schwach getrübten Inhalt in ein anderes Probiergläschen ab, fügt demselben einige Tropfen verdünnten Eisenchlorids hinzu und säuert mit einigen Tropfen reiner Salzsäure an.“

E. Meyer (1892) läßt in das zentrale Ende der einen Jugularis in einem mit der Uhr festgestelltem Moment methämoglobinhaltiges Blut einströmen,

während das Blut der anderen Jugularis durch ein Glasrohr vor dem Spalt eines Spektralapparates vorbeiströmt. Man beobachtet, wie lange es dauert, bis das Spektrum des Methämoglobins erscheint. (Referat in Hermanns Jahresbericht, Hermann bezweifelt mit Recht, daß dies Verfahren einen Vorteil vor dem Heringschen hat.)

v. Kries (1867) macht darauf aufmerksam, daß in einer geraden Röhre, in der die Flüssigkeit nach dem Poiseuilleschen Gesetz strömt, die mittlere Geschwindigkeit die Hälfte von der in der Achse stattfindenden maximalen ist. v. Kries bestimmt, um diese aus der Theorie folgende Beziehung zu prüfen, experimentell das Verhältnis der wirklichen Stromstärke zu derjenigen, die stattgefunden hätte, wenn in allen Punkten des Querschnitts der Röhre die maximale geherrscht hätte. Die erste wird direkt aus der Bestimmung des Volumens gefunden, das in einer bestimmten Zeit durch die Röhre geflossen ist, das zweite aus der Strecke, die ein axiales Teilchen während derselben Zeit zurückgelegt hat, multipliziert mit dem Querschnitt der Röhre. Es ist also nur notwendig, die Strömung in einem bestimmten Moment anfangen zu lassen, und nach einem weiteren bestimmten Moment das ausgeflossene Volumen zu messen und den Punkt festzustellen, bis zu dem ein schnellstes Teilchen gelangt ist. v. Kries erreicht dies dadurch, daß er die Hahnbohrung eines besonders gestalteten Hahns mit einer gefärbten Flüssigkeit erfüllt, die dann bei der Drehung des Hahns in die jetzt beginnende Strömung der Flüssigkeit mitgerissen wird, und das Bestimmen des am weitesten vorgedrungenen Punktes der Flüssigkeit gestattet. Für ein Kapillarrohr von 0.4 mm Weite und 510 mm Länge, ebenso für ein Rohr von 3 mm Durchmesser und 1570 mm Länge findet v. Kries bei etwa von 300 mm Wasser zu 1000 mm Wasser wechselnden Drücken ungefähr das nach der Theorie erwartete Verhältnis 1:2. v. Kries hat dieselbe Bestimmung auch bei einem weiten, nämlich durchschnittlich 3.4 mm Durchmesser weiten Schlauch von 5 m Länge durchgeführt. Er fand dabei innerhalb desselben Druckbereichs ein Verhältnis von 1:1.6 bis 1:1.4.

Wenn bei dem natürlichen Kreislauf ein solches bestimmtes Verhältnis bestünde, so könnte man nach dem Heringschen Infusionsversuch einen Schluß auf die strömende Blutmenge ziehen. Dies scheint jedoch nicht möglich. Den Einwand gegen die Heringsche Methode, daß in den verschiedenen Kapillarsystemen die Zeiten für die Durchströmung verschieden sind, hält v. Kries nicht für erheblich. Dagegen scheint es ihm unmöglich, das Verhältnis zwischen maximaler und mittlerer Geschwindigkeit zu schätzen. Er hält es für durchaus unrichtig, daß, wie Vierordt und Heidenhain bei ihren Berechnungen implicite vorausgesetzt haben, die maximale und durchschnittliche Geschwindigkeit gleich ist. Es erscheint auch fraglich, ob die Mittelgeschwindigkeit mit einiger Annäherung als die halbe Maximalgeschwindigkeit aus dem Infusionsversuch entnommen werden kann. Wenn auch in den Hauptabschnitten des Kreislaufs, den Kapillaren, die Bewegung nach dem Poiseuilleschen Gesetz erfolgen dürfte, so muß man immerhin bedenken, daß das Verhältnis 1:2 von der Voraussetzung abhängt, daß an der Gefäßwand die Flüssigkeit nicht gleitet. Das Verhältnis 1:2 muß aber auch ungültig werden, sobald sich in der Flüssigkeit feste Teilchen befinden, welche im Vergleich zur Weite des Rohrs nicht sehr klein sind.

Wenn ein Körperchen das Lumen ausfüllt, so ist selbstverständlich die maximale und die mittlere Geschwindigkeit gleich groß. An den engsten Stellen des Kreislaufsystems sind nun die Blutkörperchen etwa so groß, daß sie die Gefäße ausfüllen. An den weiteren ist dies natürlich nicht mehr der Fall. Man weiß daher nicht, wie groß das Verhältnis ist, ob es näher an 1, oder näher an 1:2 liegt. Man kann aber auch durch die Infusionsmethode nichts über die Veränderung der Stromstärke erfahren, da mit dem Wechsel des Drucks auch die Weite der Kapillaren, und damit das Verhältnis der maximalen Geschwindigkeit zu der mittleren in einer nicht zu übersehenden Weise wechselt.

Stewart hat (1890 und 1893, siehe Kap. 44, S. 256) eine interessante Methode zur Bestimmung der Kreislaufzeit angewandt. Er läßt an einer Stelle des Kreislaufs eine konzentrierte (2.5 bis 10 %) Kochsalzlösung einfließen und beobachtet an einer anderen Stelle mit der Kohlrauschschen Methode die entsprechende Änderung des Leitungswiderstandes zwischen zwei Elektroden, die an dem Gefäße angelegt sind. In der Abhandlung von 1897 berichtet Stewart (S. 144ff.) über einige Versuche, durch die demonstriert werden soll, daß der v. Kriessche Einwand die Resultate seiner Versuche nicht alteriert. Sie sind mit einem System von Glasröhren angestellt unter Verwendung seiner soeben beschriebenen Methode, das möglichst die Verhältnisse des Kapillarsystems im Kreislauf nachahmen sollte. Es zeigt sich dabei, daß das Verhältnis zwischen maximaler und mittlerer Strömungsgeschwindigkeit sich der 1 nähert, wenn das künstliche Kapillarsystem vielverzweigt ist. Dieses Kapillarsystem war aus Glasröhren hergestellt, die mit Glasstäben erfüllt waren. Ein ähnliches Resultat erhielt er auch mit einer geraden Thermometerröhre von 0,8 mm Durchmesser, das also im Widerspruch mit den v. Kriesschen Ergebnissen steht, ohne daß eine vollständige Aufklärung möglich war.

Wenn auch nach der Kritik von v. Kries und der Beobachtung von Tigerstedt (1891) die Feststellung der Kreislaufzeit nach dieser Methode nicht möglich ist, und vor allen Dingen die Relation zwischen der Blutmenge, dem Sekundenvolumen und der mittleren Kreislaufzeit für diese Methode nicht benutzbar ist, so dürfte sie doch für eine Reihe vergleichender Bestimmungen einen Wert haben. Ich erwähne hier nur die Arbeiten von Sérégé et Soulé (1905) über das Verhältnis der Strömungsgeschwindigkeit in den verschiedenen Leberlappen oder die Untersuchung von Frank und Ziegler (1896) über die Wege, die eine in den Subduralraum eingespritzte Flüssigkeit einschlägt, u. a.

Die Versuche, die Kreislaufzeit dadurch zu bestimmen, daß eine in den peripheren Stumpf einer Arterie eingespritzte Substanz ihre Wirkung in dem von der Arterie versorgten Gebiet früher äußert als in dem allgemeinen Kreislauf, können übergangen werden (siehe u. a. Nolf 1902).

Hering 1829. Ztschr. f. Physiol., III, S. 85.

Hermann 1883. Zur Bestimmung der Umlaufszeit des Blutes. Pflügers Arch. XXXIII, S. 169—173.

v. Kries 1887. Über das Verhältnis der maximalen zu der mittleren Geschwindigkeit bei dem Strömen von Flüssigkeiten in Röhren. Festgabe für Ludwig, S. 109.

Nolf 1902. Procédé nouveau applicable à l'étude des substances à action vaso-motrice

et à la détermination de la durée de la circulation. Bullet. d. l'acad. d. Belg., S. 895—912.
Plesch 1909. Hämodynamische Studien. (Physiol. Institut von Zuntz und II. med. Klinik Berlin.) Zeitschr. f. exper. Path. und Therap., VI, S. 380.
Poiseuille 1843. Ann. d. sc. nat., Serie II, Zoologie, Bd. XIX, p. 20, Paris.
Sérégé et Soulé 1905. Sur la vitesse de circulation du sang dans le foie droit et dans le foie gauche chez le chien. C. R. d. l. Soc. Biol., I, p. 519.
Stewart 1890. A new method of measuring the velocity of the blood. Journ. of physiol., XI, p. XV.
Stewart 1893. Researches on the circulation time in organs and on the influences which affect it. Parts I—III. (Physiol. Institut Cambridge und Straßburg.) Journ. of physiol., XV, p. 1—89.
Stewart 1897. Researches on the circulation time and on the influence which affect it. Journ. of physiol., XXII, p. 159—183.
Vierordt 1857. Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeit des Blutes nach Versuchen. Frankfurt 1858.
Ziegler und Frank 1896. Über die Mechanik des normalen und pathologischen Hirndrucks. Arch. f. Chirurgie, LIII.

Kapitel 55.

Bestimmung der Blutmenge des Körpers.

A. Die direkte Bestimmung der Blutmenge.

Von Welcker (1858) rührt die bekannte und bei Einhaltung der verschiedenen Kautelen zuverlässige Methode der direkten Blutmengenbestimmung her. Sie bedingt die Tötung des Tieres. „Sie beruht bekanntlich darauf, daß man zunächst eine kleine (gewogene) Quantität Blut auffängt, sich daraus eine wässerige Lösung von bekannter Konzentration (1 cc Blut mit 500 cc Wasser) anfertigt und dieselbe in ein Reagensgläschen von bestimmtem Durchmesser einfüllt. Hierauf gewinnt man von dem Tiere die ganze Blutmenge durch Verbluten, Ausspritzen der Gefäße und Auswaschen der fein zerhackten Gewebe. Die so erhaltenen Flüssigkeiten werden zusammengegossen, gemessen und hierin die Blutmenge in folgender Weise bestimmt. Man verdünnt die letztere Blutlösung so lange, bis die verdünnte Flüssigkeit in einem Reagensgläschen von denselben Dimensionen, wie das Probegläschen, genau denselben Farbenton angenommen hat, wie die Probeflüssigkeit. Wenn man das Volumen der verdünnten Flüssigkeit durch 500, d. h. durch die zur Anfertigung der Probelösung angewandte Wassermenge dividiert, so zeigt der Quotient, wie vielmal die Blutmenge der Probelösung in dieser Flüssigkeit enthalten ist.“ (Steinberg, Pflügers Arch. VII, S. 101.)

Welcker (S. 150) macht darauf aufmerksam, daß man etwa stärker angehäuftes Pigment vor der Zerhackung sorgfältig entfernt. „Die Ausschließung der Galle und anderer durch ihre Färbung störender Flüssigkeiten versteht sich von selbst.“

Verschiedentlich hat man versucht, diese Methode zu verbessern. Heidenhain (1857) hat es für nötig gehalten, die Probe, die für die vergleichende kolorimetrische Untersuchung bestimmt ist, sowohl dem arteriellen als dem venösen Blut zu entnehmen.

Gscheidlen (1873) suchte den Blutfarbstoff der Muskeln bei der Bestimmung auszuschließen. Außerdem sättigte er das Hämoglobin in den verschiedenen Lösungen mit Kohlenoxyd, um der sonst rasch eintretenden Zersetzung vorzubeugen (S. 530).

Franz Müller (1901) bestimmt das Hämoglobin in der Blutprobe, die aus der Carotis entnommen war, dann weiter die Gesamthämoglobinmenge mit dem Miescherschen Hämometer. Er nimmt keine Rücksicht auf den Farbstoff der Muskeln.

Auch Plesch (1909, S. 383) hat die Methode etwas modifiziert. Ich teile von seiner Beschreibung mit, daß er die Masse des Tieres in verschiedenen Portionen, einmal die Haut, dann die Organe, ferner das Knochenskelett zerkleinert, mit Wasser auslaugt und dann in der E. Buchnerschen Presse (für die Darstellung der Zymase aus Hefe konstruiert) auspreßt. Zur Klärung der Spülflüssigkeiten empfiehlt er einen Zusatz von etwas Ammoniak. Für die kolorimetrische Vergleichung verwendet er ein besonderes von ihm konstruiertes Chromophotometer. Die Beschreibung dieses Instrumentes gehört in einen anderen Teil dieses Handbuchs. Ich bemerke nur, daß bei ihm der Lummer-Brodhunsche Würfel zur Erzeugung der zwei Vergleichsfelder benutzt wird.

B. Die indirekte Bestimmung der Blutmenge.

Vierordt (1858) hat versucht, aus dem Stundenvolumen und der Kreislaufzeit die Blutmenge nach der bereits angegebenen Beziehung zu schätzen: $S = V/t$. Eine derartige Bestimmung hat nur dann Sinn, wenn die Bestimmungen des Sekundenvolumens und der Kreislaufzeit genauer und einfacher durchzuführen sind, als diejenigen der Blutmenge. Zur Zeit Vierordts konnte man kein Urteil über die Leistungsfähigkeit dieser Methoden haben.

Valentin (1866 und 1838; siehe Kronecker und Sander S. 472) hat zuerst das Prinzip einer Methode angegeben, die später zu hinreichend genauen Bestimmungen geführt hat. Er bestimmt in einer Blutprobe den Trockenrückstand, injiziert dem Tier eine bestimmte Menge destillierten Wassers und bestimmt in einer weiteren Blutprobe nach einer zur Mischung hinreichenden Zeit wiederum den Trockenrückstand. Eine einfache Rechnung ergibt aus diesen Bestimmungen die Blutmenge (Zit. nach Plesch S. 391). Die Methode ist tatsächlich wegen der durch das destillierte Wasser hervorgerufenen Hämolyse und der Hämoglobinurie nicht anwendbar, lieferte aber das Paradigma zu den später angewandten indirekten Methoden. Ein im Prinzip ganz ähnliches Verfahren wurde dann von Malassez (1874 bis 1877) angegeben. Es wurde von Quincke (1877) angewandt. Bei ihm wird eine bestimmte Menge Blut von bekanntem Blutkörperchengehalt in die Blutbahn transfundiert und vor und nach der Transfusion die Zahl der Blutkörperchen festgestellt. Die Berechnung gestaltet sich sehr einfach. Die Hauptfehler der Methode dürften in der inhomogenen Verteilung der Blutkörperchen und dem zu geringen Ausschlag der Zählung liegen.

Tarchanow (1880) hat gemeint, die Blutmenge dadurch bei dem Menschen bestimmen zu können, daß er ihn in einem Dampfbad schwitzen ließ, die Größe des Wasserverlustes bestimmte und aus der Zunahme des Hämo-

globingehaltes nach dem Schwitzen über denjenigen, den das Blut vor dem Schwitzen gehabt hatte, auf die Größe der Blutmenge schloß. Diese Methode ist von einem Unbekannten unter dem Pseudonym Tupoumoff lächerlich gemacht worden. Nicht mit Unrecht; eine ernste Kritik verlohnt sich nicht.

Kronecker und Sander (1881) haben das Prinzip der Valentinschen Methode in der Weise modifiziert, daß sie einem Tier eine gewisse Menge physiologische (0,6 $^0/_0$) Kochsalzlösung injizierten und vor und nach der Injektion die Menge der Blutkörperchen oder auch den Hämoglobingehalt feststellten. Die gefundenen Zahlen weisen außerordentliche Differenzen bis zu annähernd 100 $^0/_0$ auf. Stichhaltige Gründe für diese Verschiedenheiten werden nicht angegeben.

Plesch (1909, S. 395 ff.) hat dieselbe Methode für den Menschen angewandt wie Kronecker und Sander, d. h., er hat eine gewisse Menge, ca. $^1/_2$ $^0/_0$ des Körpergewichts Kochsalzlösung infundiert und vor und nach der Infusion den Hämoglobingehalt des Blutes mit seinem Chromophotometer bestimmt. Obwohl bei diesen Infusionen ein Schüttelfrost mit akuter mäßiger Temperatursteigerung auftritt, hält Plesch das Verfahren doch für den Patienten ungefährlich. Er glaubt auch, daß wesentliche Mengen der Kochsalzlösung während der Infusion die Blutbahn nicht verlassen. Die Dauer der Infusion schwankt zwischen 2 und 9 Minuten. Während dieser Zeit mischt sich die Kochsalzlösung nach Plesch gleichmäßig mit dem Blut.

Kottmann (1906) hat den Blutkörperchengehalt des Blutes vor und nach einer Transfusion von 0,9 $^0/_0$ Kochsalzlösung mit dem Hämatokriten bestimmt. Nach einer Bemerkung von Plesch (S. 395) ist die Idee zu dieser Arbeit von ihm Kottmann früher mitgeteilt worden. Die Fehler dieser Methode liegen nach Plesch vorzugsweise in der Ungenauigkeit der Hämatokritmethode.

Gréhant et Quinquaud (1883) haben zuerst eine Methode angewandt, zur Bestimmung der Blutmenge beim Menschen, die, wie sich bei dem späteren Gebrauch gezeigt hat, zur richtigen Bestimmung führen kann. Sie haben das Tier eine bestimmte unschädliche Menge Kohlenoxyd einatmen lassen und nach der Einatmung den Kohlenoxydgehalt des Blutes festgestellt. Das Kohlenoxyd wurde von ihnen indirekt bestimmt, dadurch, daß vor und nach der Kohlenoxydinhalation der Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes durch die gewöhnliche Blutgasanalyse festgestellt wurde. Die Differenz in den gefundenen Mengen von Sauerstoff wird auf das Kohlenoxyd bezogen. Es ist selbstverständlich, daß eine derartige Differenzbestimmung nur sehr ungenau sein kann.

Die Methode von Haldane und Smith (1900) ist im Prinzip identisch mit der von Gréhant et Quinquaud angewendeten. Von dem Tier oder dem Menschen wird eine bestimmte unschädliche Menge Kohlenoxyd eingeatmet und es wird danach bestimmt, wie groß der prozentige Gehalt des Blutes an dem Kohlenoxyd durch die Einatmung des Gases geworden ist. Das eigentümliche an dem Haldaneschen Verfahren liegt in der Art, wie er den prozentigen Gehalt des Blutes am Kohlenoxyd bestimmt. Er führt dies dadurch aus, daß er zunächst ermittelt, wieviel Sauerstoff oder identisch hiermit wieviel Kohlenoxyd das Blut des Tieres überhaupt

aufzunehmen vermag, d. h. die Kapazität des Blutes für Sauerstoff oder Kohlenoxyd in Prozenten der Blutmenge. Dann bestimmt er, wie groß der Sättigungsgrad des Blutes an Kohlenoxyd durch die Inhalation geworden ist. Das Produkt aus diesen beiden letzten Größen gibt den prozentigen Gehalt des Blutes an Kohlenoxyd.

Um die Kapazität des Blutes für Sauerstoff zu prüfen, wird eine bestimmte Menge irgend eines Vergleichsblutes (Ochsenblut) mit Sauerstoff gesättigt und dann die Menge dieses Sauerstoffs durch die Ferrizyanidmethode bestimmt (Haldane 1898 und 1900). Das zu untersuchende Blut wird dann kolorimetrisch verglichen mit dem Vergleichsblut. Diese Methode setzt also voraus, daß das Hämoglobin in dem Vergleichsblut und in dem zu untersuchenden Blut das gleiche Bindungsvermögen für den Sauerstoff und die gleiche Färbekraft besitzt.

Den Sättigungsgrad des durch die Inhalation mit einer gewissen Menge Kohlenoxyd versehenen Blutes bestimmt Haldane (siehe Haldane und Smith 1896, S. 502) so, daß er zu dem Blut, das vor der Einatmung entnommen war, so viele ccm einer verdünnten Karminlösung hinzusetzt, bis es in seinem Farbenton demjenigen des Blutes gleich wird, das nach der Inhalation entnommen ist. Dann wird in dieses Glas soviel Kohlenoxyd eingeleitet, bis das Blut mit Kohlenoxyd gesättigt ist. Es wird nun soviel Karmin zu der normalen Blutprobe hinzugesetzt, bis wieder Gleichheit des Farbentons eingetreten ist. Eine einfache Proportion ergibt den Sättigungsgrad. Es ist dann noch notwendig, eine kleine Korrektur für das Kohlenoxyd anzubringen, das in Plasma aufgelöst ist.

Daß mit dieser Methode im wesentlichen zuverlässige Resultate erhalten werden, hat Douglas (1906) in einer Arbeit gezeigt, in der die Ergebnisse der indirekten Kohlenoxydmethode mit der direkten Welckerschen Methode verglichen werden. Bei der Anwendung der Welckerschen Methode verwertete er die Erfahrungen von Franz Müller (1901, siehe oben), aus denen die Wichtigkeit der Berücksichtigung des Knochenmarkhämoglobins hervorgeht (s. S. 309).

Oerum (1906) hat ebenfalls bei dem Menschen die Blutmenge bestimmt und zwar dadurch, daß er ähnlich wie Gréhant et Quinquaud, ferner Haldane und Smith eine Menge Kohlenoxyd einatmen ließ und nach der Einatmung den prozentigen Gehalt an Kohlenoxyd feststellte. Die von ihm gefundenen Zahlen stimmen mit den Smithschen Messungen gut überein.

Auch die Resultate, die Plesch mit der oben geschilderten Methode und früher Haldane und Smith bei der Bestimmung der Blutmenge des Menschen erhalten haben, stimmen gut überein. Es wird indessen noch einiger Zeit bedürfen, bis die Diskussion über die Fehler der indirekten Bestimmung der Blutmenge geklärt ist.

Gréhant et Quinquaud 1883. Mesure du volume de sang contenu dans l'organisme d'un mammifère vivant. C. R. T. 94, p. 1450.

Gscheidlen 1873. Bemerkungen zu der Welckerschen Methode der Blutbestimmung und der Blutmenge einiger Säugetiere. Pflügers Arch. 7, S. 530.

Douglas 1906. A method for the determination of the volume of the blood. Journ. of physiol. XXXIII, p. 493.

Haldane 1898 and 1900. The ferricyanide method of determining the oxygen capacity of blood. Journ. of physiol. XXV, S. 295; XXII, p. 298.
Haldane and Smith 1896. The oxygen tension of arterial blood. Journ. of physiol. XX, p. 497.
Haldane and Smith 1900. The mass and oxygen capacity of the blood in man. Journ. of physiol. XXV, p. 331.
Heidenhain 1857. Zur Physiologie des Blutes. Arch. f. physiol. Heilkunde, S. 507.
Kottmann 1906. Über die Bestimmung der Blutmenge beim Menschen und Tier unter Anwendung eines neuen Präzisionshämatokriten. Arch. f. exper. Pathol. und Pharm. 54, S. 356.
Kronecker und Sander 1881. Über die Bestimmung der zirkulierenden Blutmenge im lebenden Tiere. Du Bois Arch., S. 471.
Malassez 1874/77. Arch. de physiol. norm. et pathol. 1874, p. 797; 1875, p. 201; 1877, p. 423.
Müller, Franz, 1901. Beiträge zur Frage nach der Wirkung des Eisens bei experimentell erzeugter Anämie. Virchows Arch. 164, S. 134.
Müller, Franz, 1901. Ein Beitrag zur Methodik der Bestimmung der Gesamtblutmenge. Arch. f. Anat. und Physiol., S. 459.
Oerum 1906. Über die Methoden zur Hämoglobinbestimmung und ihren Wert zum klinischen Gebrauche. Festschrift für O. Hammerstein.
Quincke 1877. Weitere Beobachtungen über perniziöse Anämie. Deutsch. Arch. f. klin. Med. XX, S. 27.
Stewart 1897. Researches on the circulation time and on the influence which affect it. Journ. of physiol. XXII, p. 159—183.
Tarchanow 1880. Die Bestimmung der Blutmenge des lebenden Menschen. Pflügers Arch. XXIII, S. 11; XXIV, S. 548.
Valentin 1866 und 1838. Versuch einer physiologischen Pathologie des Herzens und der Blutgefäße. Leipzig.
Welcker 1858. Bestimmungen der Menge des Körperblutes usw. Zeitschr. f. rationelle Medizin IV, S. 145.

Kapitel 56.

Kreislaufbeobachtung in der Schwimmhaut des Frosches und anderen durchsichtigen Teilen des Körpers.

Seit den Zeiten von Malpighi ist vielfach zu wissenschaftlichen und Demonstrationszwecken der Kreislauf in durchsichtigen Körperteilen mit dem Mikroskop beobachtet worden. Die Technik dieser Beobachtungen ist sehr einfach. Ich gebe von den in der Literatur sich vorfindenden Beschreibungen diejenige von Huizinga (1875) wieder.

S. 208—9.: „Die ausgewählten Frösche wurden kurarisiert mittels Injektion unter die Rückenhaut von 0,075 Cc. einer Kurarelösung, die so verdünnt war, daß sich bei dieser Dose nach 20—30 Minuten vollkommene Paralyse entwickelt hatte, welche 2—3 Tage dauerte und dann vorüberging, ohne bemerkliche Störung im Allgemeinbefinden zu hinterlassen. Zur Beobachtung der Schwimmhaut wurde das vergiftete Tier auf dem Bauche auf eine Glasplatte gelegt, die Hinterbeine mäßig gestreckt und die zweite Schwimmhaut von jedem Fuße einfach ausgebreitet auf ein dreieckig geschliffenes Glasplättchen, das nach der Form der Schwimmhaut zugespitzt war. Das Plättchen war ungefähr $1\frac{1}{2}$ mm dick, so daß die beiden Zehen

durch das wie ein Keil dazwischen geschobene Glasplättchen ohne jede Zerrung auseinander gehalten wurden."

Von Holmgren (1874) ist die Froschlunge als ein ausgezeichnetes Objekt für die Beobachtung des Kreislaufs empfohlen worden. Um die Lunge gut ausspannen zu können, muß sie aufgeblasen werden. Holmgren hat hierfür eine besondere Vorrichtung angegeben. Sie besteht im wesentlichen aus einer eigenartig konstruierten Kanüle k, die auf dem einen Ende mit einer Blase b aus Froschdarm versehen ist. Dieses Ende wird in den Kehlkopf eingeführt und dichtet dort die Kehlritze ab. Bei dem Aufblasen durch die Öffnung m drückt die durch kleine Löcher zwischen r und r′ entweichende Luft die Froschdarmblase gleichmäßig an die Kehlkopfwand an. Die Kammer für die Lunge und das Einlegen des Lungenpräparats werden von Holmgren S. 41 ff. ausführlich beschrieben.

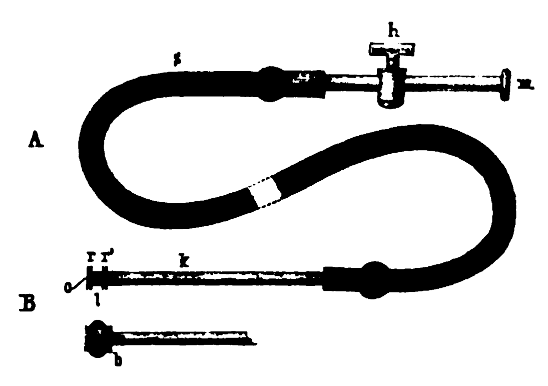


Fig. 61.
Kanüle von Holmgren zum Aufblasen der Froschlunge.

Von Ewald (1897) wird die Tritonlunge als schönstes Objekt zur Beobachtung des Kapillarkreislaufs empfohlen. Er gibt S. 249 an, daß ein dauerndes Aufblasen der Lunge nicht notwendig ist, da der Mund von selbst geschlossen bleibt, und auch durch die Nasenlöcher keine Luft austritt.

Wissenschaftlich verwertet wurden diese Beobachtungen zum Teil, um Aufschluß über die Geschwindigkeit und den Druck der Kapillarströmung zu erhalten (siehe Kap. 40 und 45), zum Teil um besondere vasomotorische Studien zu machen. So hat Stricker (1865) die Frage nach der Kontraktilität der Kapillarwände durch Beobachtung des Kreislaufs in der Nickhaut des Frosches zu lösen versucht.

Nussbaum (1875) hat an der Schwimmhaut eines sitzenden Frosches, dem Gehirn und Medulla oblongata entfernt waren, beobachtet, daß die rhythmischen Kontraktionen der Arterie noch bestehen bleiben. Sie hören erst nach Durchstoßung des Rückenmarks auf.

Ewald 1897. Beiträge zur histologischen Technik. Zeitschr. f. Biologie XXXIV, S. 246.
Holmgren 1874. Methode zur Beobachtung des Kreislaufs in der Froschlunge. Festgabe für C. Ludwig, Leipzig.
Huizinga 1875. Untersuchungen über die Innervation der Gefäße in der Schwimmhaut des Frosches. Pflügers Archiv 11, S. 207.
Nussbaum 1875. Über die Lage des Gefäßzentrums. Pflügers Arch. X, S. 274.
Stricker 1865. Untersuchungen über die kapillaren Blutgefäße in der Nickhaut des Frosches. Ber. d. Wiener Akad. d. Wiss. LI, S. 16.

Kapitel 57.

Blutzirkulation bei Fischen, Avertebraten und Embryonen.

Es ist selbstverständlich, daß jedes neue tierische Objekt an die Methodik neue Anforderungen stellt. Die Wege, die man einzuschlagen hat, sind leicht gegeben, wenn man sich über die Anatomie aus den zoologischen Handbüchern und den Spezialarbeiten orientiert.

Wichtige Winke in dieser Richtung sind in einem speziellen Teil dieses Handbuchs, der von Bethe bearbeitet ist, enthalten.

Im Prinzip sind für die hämodynamische Untersuchung alle diejenigen Methoden, die in den früheren Kapiteln behandelt sind, anwendbar. Man wird die Bewegung der Herzen der niederen Tiere in derselben Weise aufzuzeichnen suchen, wie dies in den einschlägigen Kapiteln beschrieben worden ist. Nicht in allen Fällen wird es möglich sein, die exakten Methoden, wie bei den höheren und größeren Tieren, anzuwenden. Aber prinzipiell können die Methoden nicht von den für diese Tierklassen beschriebenen verschieden sein.

Ich notiere von Untersuchungen, die sich mit dem Herzen oder dem Kreislauf niederer Tiere beschäftigen, nur einige wenige.

Schönlein (1895) hat den Kreislauf bei Fischen untersucht. Da ihre Gefäße sehr zart sind, hat er eine besondere Vorrichtung zum Einführen von Kanülen, ein Mandrin konstruiert (S. 517 der Abhandlung). Vgl. auch Brünings (1899).

Fuchs (1895) hat S. 174—177 ausführlich die Anatomie des Herzens der großen Gefäße und der Herznerven von Cephalopoden (Octopus vulgaris und Eledone moschata) und S. 185—186 die Methode zur Beobachtung dieser Tiere, beschrieben.

Straub (1901) hat das Aplysienherz in ähnlicher Weise wie das Froschherz mit einer modifizierten Suspensionsmethode untersucht.

Über die ausgedehnten Untersuchungen von Carlson der Physiologie des Herzens von Limulus, die im Jahre 1904 beginnen, ist von dem Autor in den Ergebnissen der Physiologie (1909 S. 371) Bericht erstattet worden.

Die hauptsächlichsten Untersuchungen von embryonalen Herzen sind am Hühnchen angestellt worden. (His 1891 und Pickering 1893 und 1895.) Pickering (1893, S. 390) hat eine Kammer konstruiert zur Beobachtung der Keimscheibe unter möglichst normalen Verhältnissen, während die früheren Beobachter das Herz des Hühnchens meist ausgeschnitten auf einem heizbaren Objekttisch beobachtet hatten. Er gibt hier auch eine vollständige Übersicht der früheren Literatur.

Pickering hat (1896) auch Säugetierembryonenherzen der Untersuchung zugänglich gemacht. Sie schlagen noch 3—4 Tage nach dem Ausschneiden in Berührung mit mütterlichem Blut, das mit 0,75% Kochsalz verdünnt ist. Ebensogut ist nach Pickering eine Mischung aus Salzlösung und Eieralbumin. Fremdes Blut wirkt dagegen ungünstig.

Über die Methode von Zuntz und Cohnstein (1884), den fötalen Kreislauf zu beobachten, siehe Kapitel 19 und 45.

Brünings 1899. Zur Physiologie des Kreislaufes der Fische. Pflügers Arch. 75 S. 599.
Fuchs 1895. Beiträge zur Physiologie des Kreislaufes bei den Cephalopoden. Pflügers Arch. LX, S. 173.
His 1891. Die Entwicklung des Herznervensystems bei Wirbeltieren. Ber. d. sächs. Akad. XVIII, S. 1.
Pickering 1893. Observations of the physiology of the embryonic heart. Journ. of physiol. XIV., p. 383.
Pickering 1895. Further experiments on the embryonic heart. Journ. of physiol. XVIII., p. 470.
Pickering 1896. Experiments on the hearts of mammalian and chickembryos, with special reference to action of electric currents. Journ. of physiol. XX, p. 165.
Schönlein 1895. Beobachtungen über Blutkreislauf und Respiration bei einigen Fischen. Zeitschrift f. Biol. XXXII, S. 511.
Straub 1901. Zur Physiologie des Aplysienherzens. Pflügers Arch. LXXXVI, S. 504.

Kapitel 58.

Einwirkung von Giften.

Die Gifte, deren Wirkung auf Herz und Kreislauf untersucht werden soll, werden den Tieren in der gewöhnlichen Weise, entweder per os, subkutan oder direkt in die Blutbahn einverleibt. Für die Injektion von Giften oder anderen Stoffen unmittelbar ins arterielle System hat C. Tigerstedt (1908) eine besondere Spritze mit Ventil konstruiert, das die Rückströmung des Blutes in die Spritze automatisch verhindert. „Diese Kanüle, die in der Figur im Längsschnitte 2 : 1 dargestellt ist, ist aus vernickeltem Messing gemacht. a ist das in die Arterie möglichst nahe ihrem Ursprung eingebundene Ende der Kanüle; die Manometerleitung wird mit b verbunden. Die Injektionsvorrichtung ist den gewöhnlichen Fahrradventilen nachgebildet. Sie besteht aus der mit der Röhre a-b verbundenen Hülse, in welche das an seinem unteren Teil mit einem dünnen Gummischlauch (die dicke schwarze Linie in der Figur) überzogene Rohr mittels einer Schraubenmutter d luftdicht eingesetzt ist. gg stellen kleine Erhebungen an c dar, die in entsprechende Schlitze in e passen und es verhindern sollen, daß sich c beim Anziehen der Schraubenmutter herumdrehe. Ans obere Ende der Röhre c wird die gefüllte Injektionsspritze geschraubt.

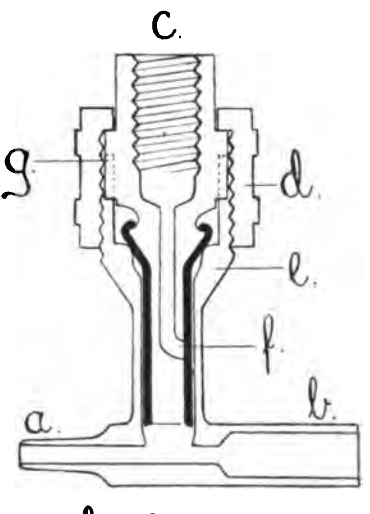


Fig. 62.
Injektionsspritze nach C. Tigerstedt.

Diese treibt die injizierende Flüssigkeit in die durch den Gummischlauch abgeschlossene Röhre cf. Wenn der Druck hier den stattfindenden Blutdruck übersteigt, dringt die Flüssigkeit durch das Loch bei f heraus und

tritt zwischen dem Schlauch und dem unteren Ende der Röhre in a-b hinein. Dabei empfiehlt es sich, die Leitung zum Manometer bei b momentan zu schließen, wenn man es nicht vorzieht, die Injektion an einer Arterie auszuführen, die nicht zur Registrierung des Blutdruckes dient. In letzterem Falle stellt die Kanüle a die direkte Fortsetzung der Hülse e dar, und der Manometeranschluß b wird dabei fortgelassen." Im übrigen haben natürlich die Methoden, die zur Einverleibung der Gifte, Organextrakte usw. in den Tierkörper oder in den künstlichen Kreislauf oder in die ausgeschnittenen Herzen und Gefäße verwendet worden sind, kein besonderes Interesse.

Nolf (1902) will durch ein eigentümliches Verfahren entscheiden, ob eine Substanz auf das Gefäßzentrum oder direkt peripher auf die Gefäße wirkt.

Nolf, 1902. S. Kap. 66.
Tigerstedt, Carl, 1908. Ein Ventil für direkte Injektion ins arterielle System. Zeitschrift f. biol. Techn. Method. 1, p. 173.

Kapitel 59.

Einwirkung verschiedener Temperaturen.

Die Wirkung verschiedener Temperaturen auf das Herz ist in zweierlei Weise untersucht worden. Man hat einerseits die Temperaturen auf das ganze Herz wirken lassen, entweder dadurch, daß man das ausgeschnittene Kalt- oder Warmblüterherz in einen Raum von bestimmter Temperatur ev. unter gleichzeitiger Durchspülung mit Flüssigkeit derselben Temperatur gebracht hat (s. Kap. 23 u. 24), oder daß man das ganze Tier auf den gewünschten Temperaturgrad erwärmt bzw. abgekühlt hat. Es erscheint nicht notwendig, die in dem letzteren Fall verwendeten Versuchsanordnungen besonders zu beschreiben.

Methodisch von größerem Interesse sind diejenigen Versuche, bei denen die Einwirkung von verschiedenen Temperaturen auf beschränkte Herzteile untersucht wurde. Der Grundgedanke zu diesen Untersuchungen rührt von Gaskell (1882) her. Er hat die Einwirkung der Temperaturen auf einzelne Herzabteilungen beschränkt, z. B. auf den Vorhof oder Ventrikel von Frosch- und Schildkrötenherzen, deren Bewegungen mit der von ihm erfundenen Suspensionsmethode registriert wurden. Die partielle Erwärmung nahm er durch eine von einem Strom durchflossene Drahtspirale vor. Eine Beschreibung seiner Methode und der mit ihr erhaltenen Resultate gibt Gaskell selbst in Schäfers Textbook II, S. 172. Die Resultate der Gaskellschen Untersuchung sind von Adam (1905 und 06) für das isolierte überlebende Warmblüterherz bestätigt worden (s. unten).

Zur Erzeugung eines Herzblocks hat v. Kries (1902) im Anschluß an die Gaskellschen Untersuchungen eine partielle Abkühlung der Atrio-Ventrikulargrenze oder auch mittlerer Abschnitte des Ventrikels, unter Umständen nach einer passenden partiellen Durchschneidung, vorgenommen. Er hat hierzu eine Vorrichtung konstruiert, die er (S. 478) wie folgt beschreibt:

„Um die Abkühlung einer schmalen Zone an der Atrioventrikularfurche zu erreichen, wurde dem Versuch die folgende Form gegeben:

Zwei Kupferröhrchen wurden auf eine Strecke von etwa 1 cm mäßig platt geschlagen und an einer Kante mit einer ca. 1 mm breiten ebenen Fläche versehen. Diese Röhrchen wurden dann so angebracht, daß sie quer von rechts nach links über den Froschkörper hinliefen, das Herz aber so zwischen sie gelagert, wie es Fig. 63a (Längsschnitt der Röhren, Querschnitt des Herzens) und Fig. 63b (Querschnitt der Röhren und Längsschnitt des Herzens) ersichtlich machen.

Der Ventrikel sowohl als das Atrium bleiben daher größtenteils noch frei und gestatten die Aufzeichnung ihrer Bewegungen. Diese geschah in

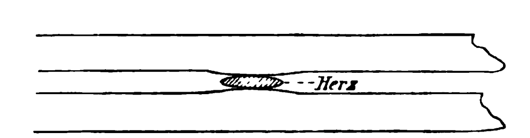


Fig. 63a.
Apparat von v. Kries zur lokalen Temperierung des Froschventrikels. Längsschnitt.

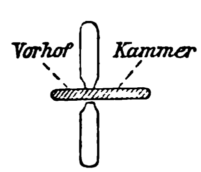


Fig. 63b.
Querschnitt.

den hier in Rede stehenden Versuchen stets nach der Engelmannschen Suspensionsmethode ... Für Vorhof und sinus venosus konnte nun ein ähnliches Verfahren nicht wohl angewandt werden; ich habe mich daher hier auf die Erwärmung von unten her beschränkt. Zu diesem Zwecke wurde ein drittes Röhrchen von nur 2 mm Durchmesser benutzt, welches in der Horizontalebene Ω-förmig gebogen war; die Mitte des Bogens kann den beiden anderen Röhrchen leicht genügend angenähert werden, um darauf den Venensinus oder den größeren Teil der Vorhöfe zu lagern, während jene in der soeben geschilderten Weise die Atrio-Ventrikularfurche einschließen."

Die von Adam (1905) zur verschiedenen Temperierung einzelner Abschnitte des Warmblüterherzens konstruierte Vorrichtung beschreibt er S. 609:

„Zu diesem Zwecke wurden mannigfach gestaltete und verschieden große Vorrichtungen verwendet, die im allgemeinen folgendermaßen eingerichtet waren. Ein kurzer Metallzylinder ist an seinem einen Ende durch eine Membran aus dünnem Schablonenblech geschlossen. In diesen Zylinder mündet ein Zuleitungsrohr, das innen nahe bis an die Membranwand geführt ist; ein an einer anderen Stelle der Zylinderwand angebrachtes zweites Röhrchen dient dem durch das erste Rohr zugeleiteten temperierten Wasser zum Abfluß. Beide Röhrchen sind mit Gummischläuchen versehen; der mit dem Zuflußrohr verbundene Schlauch führt zu einem Zweiweghahn, der eine abwechselnde Verbindung mit zwei Flaschen möglich macht, von denen die eine Wasser von etwa 50° C, die andere durch Eis gekühltes Wasser enthält.

Um die Basis des erwärmten oder abgekühlten Rohres den verschiedenen Partien des Herzens anlegen zu können, ist es durch zwei Kugelgelenke mit einem verstellbaren Stativ verbunden; dadurch besitzt es eine sehr große Beweglichkeit nach verschiedenen Richtungen und läßt sich leicht den einzelnen Teilen des Herzens anlegen, ohne dessen Bewegungen irgendwie

merklich zu hindern. Außer diesem Metallrohr kamen noch einfache aus Glas gefertigte und passend gebogene Röhren zur Verwendung, welche durch die beiden Hohlvenen geschoben wurden und dann mit einem Teile ihrer Oberfläche der Vorhofsinnenwand anlagen oder auch in die rechte Kammer nach Schaffung passender Öffnungen und Gegenöffnungen eingeführt werden konnten. Stets wurden diese Röhren dem Herzen bereits vor dem Versuche angelegt, nachdem sie vorher auf mittlere Temperatur erwärmt waren."

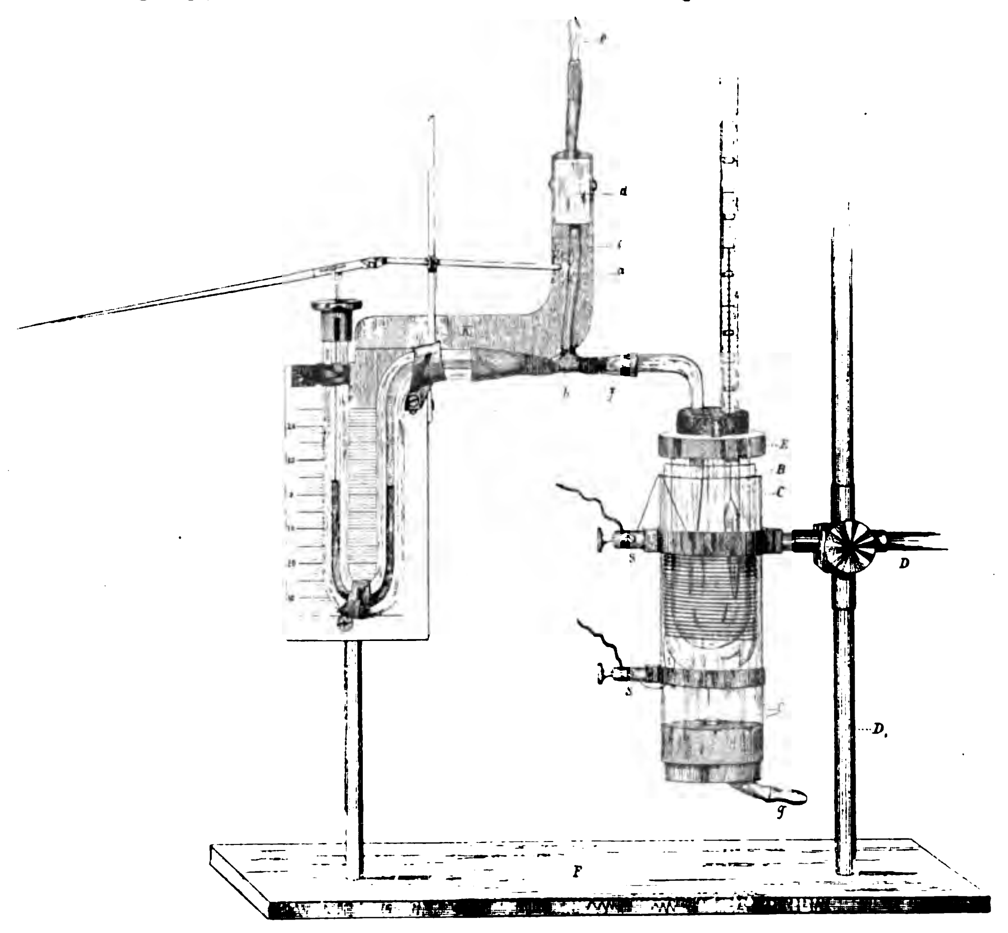


Fig. 64.
Apparat von Engelmann zur Erwärmung des Aortenbulbus.

S. 611. „An demselben Herzen werden sodann Erwärmungs- bzw. Abkühlungsversuche der Ventrikel vorgenommen in der Weise, daß die Ventrikel in einen doppelwandigen, innen aus dünnem Schablonenblech bestehenden, von Wasser durchströmten Trichter gesteckt wurden, der den Kammerwänden in großer Ausdehnung anlag, und durch dessen untere Öffnung der an der Herzspitze befestigte, zur Registriervorrichtung führende Faden hindurchging."

Ich bilde hier (Fig. 64) noch den schon S. 141 erwähnten Apparat von Engelmann zur Erwärmung des Aortenbulbus in etwa $^1/_2$ Größe ab. C ist eine Glasröhre, die als Träger der Klemmen S und des ganzen übrigen Apparates dient. In sie ist das Heizgefäß B eingeschoben, auf dessen äußerer Oberfläche die Heizspirale (40 Windungen von dünnen umsponnenen Kupferdraht) gewickelt. Zwischen B und C bleibt ein enger Luftraum, durch den Luft von g aus zur Wiederabkühlung geleitet werden kann. In B steckt der mit defibriniertem Blut gefüllte Behälter A für Bulbus und Thermometer. Die Seitenröhre a dient zur Regulierung des Füllungsdruckes.

Adam 1905. Untersuchungen am isolierten überlebenden Säugetierherzen über Ursprung der Automatie der Herzbewegung. (Biol. Abt. ärztl. Ver. Hamburg.) München. med. Wochenschr. Jahrg. 52, S. 1749.

Adam 1906. Experimentelle Untersuchungen über den Ausgangspunkt der automatischen Herzreize beim Warmblüter. Pflügers Arch. Bd. 111, S. 607.

Engelmann 1882. S. Kap. 23.

Gaskell 1882. On the rhythm of the heart of the frog, and on the nature of the action of the vagus nerve. Philos. transact. Roy. Soc. 173, S. 933.

v. Kries 1902. Über eine Art polyrhythmischer Herztätigkeit. (Physiol. Institut Freiburg.) Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 477.

Kapitel 60.

Hydraulische Versuche und Kreislaufmodelle.

Die mechanischen Verhältnisse des Kreislaufs sind so verwickelt, daß wohl jeder, der sich mit ihnen beschäftigt hat, das Bedürfnis gefühlt hat, sich die Verhältnisse durch Anschauung klarer zu machen.

Schon E. H. Weber (1850) hat ein Kreislaufmodell konstruiert, das aus einem das Herz repräsentierenden Ballon oder Schlauch besteht. Es enthält die arteriellen und venösen Klappen, ferner Schläuche, die das Arterien- und Venensystem repräsentieren und einen zwischen beiden geschalteten Widerstand, markiert durch einen Schwamm, der das Kapillarsystem vorstellt. Dieses Modell dürfte mit ganz geringen Modifikationen immer noch dasjenige sein, das sich am besten zur Demonstration der hydraulischen Beziehungen des Kreislaufs in der physiologischen Vorlesung eignet. Nach Weber sind eine Reihe von Kreislaufmodellen angegeben worden, u. a. von Marey (La circulation S. 17, 18, ff; ausführliche Beschreibung und Abbildung S. 710 ff.) mit Demonstration von Kurven, die mit dem Apparat erhalten werden. Bemerkenswert ist auch das Portersche Modell (1905).

Ein vorzügliches Modell, das sich besonders noch für das Studium der Kreislaufstörungen durch Klappenfehler usw. eignet, ist von Moritz (1895 und 1900) konstruiert worden. Moritz hat in sehr eingehender Weise eine mechanische Analyse des Modells, zum Teil gestützt auf die „Dynamik des Herzmuskels", gegeben. In einer kurzen Notiz hat Henderson (1904) ein neues Modell angezeigt.

Wenn Marey S. 16 der „Circulation" sagt, daß ein derartiges Schema ein vorzügliches Mittel zur Demonstration des Mechanismus der Zirkulation sei,

so kann man ihm hierin vollständig beistimmen. Nicht so sehr aber seiner Behauptung, daß die Beobachtungen an einem solchen Modell für die Forschung wertvoll sind. Das kann doch nur insofern gelten, als man an dem Modell über die verschiedenen Gründe, die irgendeiner beobachteten Erscheinung zu Grunde liegen, aufmerksam gemacht wird.

Daß ein Kreislaufschema den natürlichen Verhältnissen viel näher kommen kann, wenn ein wirkliches Herz eingeschaltet ist, ist selbstverständlich. So können alle Vorrichtungen, mit denen man einen vereinfachten Kreislauf bei den Warmblüter- oder Kaltblüterherzen herstellen kann, als erweiterte Modelle gelten (s. Kap. 23 u. 24).

Sandborg und Worm Müller (1880) haben ein Kreislaufschema hergestellt, in das ein von der Totenstarre freies Ochsenherz eingeschaltet war. Ein derartiges Modell dürfte wohl kaum einen Vorzug vor dem einfachen, mit einem Ballon als Herz hergestellten, haben.

Die beste Übersicht über die Mechanik des Kreislaufs gestattet unter allen Verhältnissen ein mathematisches Modell, d. h. eine Zusammenstellung derjenigen Differentialgleichungen, die das Wesen des Kreislaufs wiedergeben. Derartige Gleichungen sind von mir (1891) aufgestellt worden.

Auch zu Vorstudien über die Elastizitätsverhältnisse des Herzens haben Modelle gedient. So hat Klein (1896) die Beziehungen zwischen Volumen und Druck für einen Kautschukballon festgestellt und diese Beziehungen zu einer Erläuterung der Herzmechanik verwendet. Mir scheint ihm weder die mechanische Analyse der Elastizitätsverhältnisse des Kautschukballons gelungen zu sein, noch die Übertragung dieser Beziehungen auf die Herzmechanik richtig zu sein.

Eine ganze Reihe von Modellen hat man zum Studium der Strömungsverhältnisse benutzt: Besonders zum Studium der Wellenbewegung. Schon E. H. Weber (1850) hat ein einfaches Modell, die Wellenrinne, hierzu benutzt. v. Kries (1891) und v. Frey (1892) berichten über alle diese Bestrebungen (s. auch Stuart (1891.) Ich erinnere hier besonders an die Versuche von Moens (1878/79), dann von Grashey (1881), Fick (1891), weiter an die Studien der Wirbelbewegung durch Ceradini (1871).

Hermann berichtet in der Abhandlung von Wagner (1886) über Modellversuche zum Studium des Einflusses der Schwere auf die Druckverhältnisse im Kreislauf (s. S. 302). Seine Versuche stimmen mit der mathematischen Analyse überein.

Ceradini 1871. Der Mechanismus der halbmondförmigen Klappen. Leipzig.

Fick 1891. Über den Dikrotismus des Pulses. Pflügers Arch. XLIX, S. 105.

Frank 1901. Isometrie und Isotonie des Herzmuskels. (Physiol. Institut München.) Zeitschr. f. Biologie XLI, S. 14.

v. Frey 1892. Die Untersuchung des Pulses und ihre Ergebnisse in gesunden und kranken Zuständen. Verhandl. d. Kongr. f. inn. Med. 9.

v. Frey und Krehl 1890. Die Zurückwerfung der Pulswellen. Zentralbl. f. Phys. 4 S. 409.

Grashey 1881. Die Wellenbewegung elastischer Röhren und der Arterienpuls des Menschen, sphygmographisch untersucht. Leipzig.

Henderson 1904. Demonstration of working models of the circulation. Amer. journ. of physiol. 10, XXIII.

Klein 1896. Über das Verhältnis zwischen Druck und Füllung bei Hohlorganen (Lungen und Herz) und dessen Ableitung aus der Längsdehnung. Zeitschr. für Biologie XXXIII, S. 219.

v. Kries 1891. Studien zur Pulslehre. Freiburg i. Br. 1892.

Moens 1878. Die Pulskurve. Leiden.

Moens 1879. Der erste Wellengipfel in dem absteigenden Schenkel der Pulskurve. (Physiol. Institut Leiden.) Pflügers Arch. XX, S. 517.

Moritz 1895. Demonstration eines Kreislaufmodells. Verhandlungen d. Kongr. f. inn. Med. S. 395.

Moritz 1900. Über ein Kreislaufmodell als Hilfsmittel für Studium und Unterricht. Deutsch. Arch. f. klin. Med. LXVI, S. 349.

Porter 1905. A quantitative circulation scheme. Sc. N. S. Vol. 21 p. 752.

Sandborg 1880. Studien über den Mechanismus des Herzens. Pflügers Arch. XXII, S. 408.

Stuart 1891. The interference kymoscope, an apparatus for demonstrating many of the phenomena of wave motion and circulation. Journ. of physiol. XII, S. 157 und 160.

Wagner 1886. Fortgesetzte Untersuchungen über den Einfluß der Schwere auf den Kreislauf. Pflügers Arch. 39, p. 371.

Weber E. H. 1850. Sächsische Berichte S. 186.

III. Hämodynamische Operationen.

(Mit 17 Figuren.)

Kapitel 61.

Allgemeines, Narkose und Verhinderung der Gerinnung.

A. Allgemeines.

In diesem — dritten — Teil der hämodynamischen Methodik behandle ich die wichtigsten Operationen, die bei hämodynamischen Untersuchungen vorgenommen werden. Ich hatte beabsichtigt, hier die in der Literatur vorhandenen Angaben über diese Maßnahmen, ergänzt durch persönliche Mitteilungen anderer Autoren und durch eigene Erfahrung, möglichst vollständig zusammenzustellen. Meine Absicht ist nur zum Teil erreicht worden. Die Zusammenstellung kann nicht den Anspruch auf Vollständigkeit machen. Zu einer teilweisen Ergänzung müssen andere Teile des Handbuchs „Allgemeine Technik der physiologischen Versuche und Vivisektionen“ (Bd. I, 1) von J. Pawlow, der von W. Trendelenburg behandelte Teil: „Das zentrale Nervensystem der warmblütigen Tiere“ (Bd. III, 4) und „Das zentrale Nervensystem der kaltblütigen Tiere“ von J. Steiner (Bd. III, 4) herangezogen werden. Mein vor dem Erscheinen dieser Teile niedergeschriebenes Manuskript enthält auch einige Wiederholungen von Angaben dieser Autoren. Ich habe aber nach Durchsicht dieser Abschnitte die Anlage meines dritten Teiles wesentlich unverändert gelassen und sie nur durch einige Zusätze und Verweise ergänzt. Eine abgerundete Darstellung der Technik der hämodynamischen Operationen liegt somit in dem dritten Teil nicht vor.

B. Wahl der Tiere. Befestigung der Tiere.

Die Wahl der Versuchstiere hängt natürlich von den besonderen Zwecken der Untersuchung ab. Bei dem jetzigen Stand der physiologischen Technik wird der Kaltblüter wegen der großen Widerstandsfähigkeit seiner Organe in vielen Fällen heranzuziehen sein. Von Warmblütern werden gewöhnlich Hunde, Katzen, Kaninchen (Meerschweinchen) genommen.

Von englischen Forschern werden Katzen zu den Operationen bevorzugt, da sie sehr widerstandsfähig sind und ihre Nerven sehr leicht gesehen und präpariert werden können. (Persönliche Mitteilung von Herrn Bayliss.)

Über die Befestigung der Tiere siehe die Artikel von Pawlow Bd. I, 1 S. 8—31, ferner von Trendelenburg Bd. III, 4 S. 9.

C. Die Verwendung der Narkotika zu hämodynamischen Versuchen.

Kurare ist für hämodynamische Versuche ein unentbehrliches Mittel. Eine wesentliche Wirkung auf das Herz hat es in den Dosen, durch die es

die Skelettmuskeln lähmt, nicht. Doch hat es eine Wirkung auf die Gefäßmuskulatur, vermutlich durch eine strychninartige Steigerung der Erregbarkeit der vasomotorischen Zentren. Diese Eigenschaft ist schon von Lovén 1866, S. 88) beobachtet worden, ebenso von Cyon (1868, S. 76). Latschenberger (1876) macht dafür die Verunreinigung des eigentlichen Kurare verantwortlich. Er spricht sich hierüber wie folgt aus (S. 159):

„Bekanntlich gibt es Kurare, das wie Strychnin auf die Zentra erregend wirkt; deshalb nahmen wir die Injektionen des Kurare erst dann vor, wenn der Blutdruck bereits auf dem Papierstreifen verzeichnet wurde. Wenn der Blutdruck unmittelbar nach der Injektion stieg, so war für uns dieses Kurare unbrauchbar, wenn er sank, so war es tauglich. Bei dem Kurare ersterer Art erhält man keine ruhige Kurve, man weiß nicht, ob die Erscheinungen selbständig oder infolge des Eingriffes auftreten. Aber trotz gutem Kurare gibt es Kaninchen, die dagegen so empfindlich sind, daß man keine ruhige Kurve erzielen kann; solche Tiere sind unbrauchbar. Es sind dies die großen französischen Kaninchen, besonders die jungen Tiere. Wir wählten daher bei den späteren Versuchen nur ganz gewöhnliche, ausgewachsene Stallkaninchen aus.“ Doch hat nach den Untersuchungen von Tillie (1890) einem Schüler von Böhm, auch das Kurarin, der reine wirksame Stoff des Kurare, vasomotorische Wirkungen. Zunächst wird bei allen Tieren, Hunden, Katzen und Kaninchen mit zureichenden Dosen ein vorübergehender Abfall des Blutdruckes hervorgerufen. Bei Hunden und Katzen bleibt darauf der Blutdruck konstant, während bei Kaninchen eine enorme Steigerung der Reflexerregbarkeit des vasomotorischen Zentrums auch nach kleinen Dosen eintritt, so daß im allgemeinen eine regelmäßige Blutdruckkurve bei diesen Tieren nur durch große Dosen Kurare erzielt werden kann, die wie auch bei Hunden und Katzen den Blutdruck dauernd herabsetzen. Die vasomotorischen Reflexkrämpfe der Kaninchen können außerdem noch durch Narkotisierung mit 0,5—1,0 g Urethan und durch Durchschneidung des Halsmarkes verhindert werden.

Kurare wirkt in stärkeren Dosen auch auf die herzhemmenden Fasern lähmend, und zwar nach Tillie — auf das Kilo Körpergewicht berechnet — am stärksten auf die Katze, schwächer auf den Hund, am schwächsten beim Kaninchen. Doch scheint nach meinen Erfahrungen besonders bei Kaninchen die gerade lähmende Dosis und die vaguserregbarkeitsaufhebende besonders nahe beieinander zu liegen. Außerdem habe ich bei Kaninchen ein sehr langes Persistieren der halbfibrillären Zuckungen der Bauchmuskeln beobachtet, das unter Umständen sehr störend wirkt.

Die Zusammensetzung der Kurarepräparate, die im Handel sind, ist eben, wie besonders die Untersuchungen von Boehm ergeben haben, äußerst ungleichmäßig. Die Wirksamkeit der Präparate muß in jedem einzelnen Fall vorher geprüft werden. Vgl. im übrigen den Artikel von Pawlow Bd. I, 1 S. 37. Siehe auch hier die Methode der künstlichen Atmung S. 42—55.

Besonders in England ist die Anwendung einer kombinierten Narkose, bestehend in einer Morphiuminjektion, (bei Hunden etwa eine Stunde vor der Operation, bei Kaninchen und Katzen während der Inhalation) mit nachfolgender Einatmung von Dämpfen der A. C. E.-Mischung, d. h. einer Mischung von gleichen Teilen Chloroform, Äther und Alkohol, sehr verbreitet. Man

muß dabei beachten, daß durch die Dämpfe der drei Stoffe leicht auch, abgesehen von den Großhirnzentren, die Zentren der hauptsächlichsten Reflexe in Mitleidenschaft gezogen werden. Man wird also bei derartigen Versuchen möglichst mit der Einatmung dieser Dämpfe zurückhalten, was am besten bei der kombinierten Morphium-Chloroformnarkose geht. Der Blutdruck wird bei ihr nicht wesentlich verändert. Es dürfte kaum möglich sein, für alle einzelnen Fälle Vorschriften für die Narkose zu geben. Man wird möglichst durch eigene Versuche die Wirkung der Narkotika auf die Kreislaufverhältnisse kontrollieren und wird sich nicht mit der Überzeugung begnügen, daß es sich bei den meisten Untersuchungen nur um die Feststellung relativer Beziehungen handelt.

Vielfach ist Chloralhydrat bei hämodynamischen Versuchen angewendet worden. Seine Wirkung auf den Kreislauf geht am besten aus den nachfolgenden Sätzen von Heidenhain (1871, S. 557/58) hervor:

„Ich benutze diese Gelegenheit, um in aller Kürze einige Bemerkungen über die Einwirkung des Chloralhydrats auf den Zirkulationsapparat hinzuzufügen, welche frühere Angaben teils bestätigen, teils erweitern.

1. Werden Hunden mittlerer Größe Dosen von 0,5 bis 1 g in einen Zweig der vena jugularis eingespritzt, so sinkt der Blutdruck schnell und erheblich herab, um sich nach einiger Zeit wieder zu erheben. Mit dem Sinken geht Verlangsamung, mit dem Steigen Beschleunigung der Pulsfrequenz einher.

2. Die Abnahme der Pulsfrequenz und des Druckes rührt zum Teil von einer starken Erregung des nervus vagus her. Es sind uns Fälle vorgekommen, wo der Druck während einer mehrere Sekunden andauernden Herzruhe fast auf Null sank. Werden in diesem Zeitraum beide vagi durchschnitten, so tritt rapide Steigerung des Druckes und der Pulsfrequenz ein.

3. Aber auch bei durchschnittenen vagis hat jede Injektion einer nicht zu kleinen Dosis eine, wenn schon mäßigere Drucksenkung und Pulsverlangsamung zur Folge, was auf einer Schwächung sowohl der Herztätigkeit als des vasomotorischen Zentrums beruht. Druck und Pulsfrequenz können allmählich wieder ansteigen, doch erreicht der erstere nach wiederholten Injektionen nicht wieder die ursprüngliche Höhe.

4. Nach Einverleibung größerer Dosen geht der Tonus des nervus vagus verloren, denn Durchschneidung desselben hat keine Steigerung der Pulsfrequenz mehr zur Folge. Die Erregbarkeit des peripherischen Vagusendes dauert bis zum Tode fort.

5. Nächstdem erlischt der Tonus des vasomotorischen Zentrums mehr und mehr, so daß zuletzt der Druck auf eine sehr geringe Höhe sinkt. Die direkte Erregbarkeit desselben besteht aber fort, denn durch elektrische Reizung des verlängerten Markes kann man erhebliche Drucksteigerung erzielen. — Über die vasomotorischen Reflexe ist oben bereits das Nötige mitgeteilt worden.“ Chloralhydrat wird deshalb bei hämodynamischen Untersuchungen nur unter besonderen Bedingungen angewendet.

Chloralhydrat hat man geglaubt zur vollständigen Lähmung der Gefäßmuskulatur verwenden zu können, und danach aus der Wirkung eines Mittels, beispielsweise des Digitalis, auf eine alleinige Herzwirkung schließen zu können. Derartige Schlüsse sind zweifelhaft. In diesem Fall sind sie

vollständig hinfällig, weil Chloralhydrat die Gefäßmuskulatur nicht einmal so weit lähmt, daß elektrische Reize unwirksam bleiben, wie dies auch aus der Darstellung von Heidenhain hervorgeht. Über Narkose siehe auch S. 263 und Bd. I, 1 S. 31 und Bd. III, 4 S. 6.

D. Die Anwendung von gerinnungshemmenden Mitteln bei hämodynamischen Versuchen.

a) Methoden, durch welche die Gerinnung des Gesamtblutes verhindert wird.

Wenn es erforderlich ist, daß das Blut die Apparate selbst durchströmt, so muß man bei länger dauernden Versuchen unbedingt die Gerinnung des Blutes aufheben oder vermindern. Notwendig wird diese Maßnahme z. B. bei allen Anwendungen der Stromuhr. Daß durch einen abgekürzten Kreislauf, wie er von Stolnikow angewendet wurde, die Gerinnungsfähigkeit von selbst vermindert oder aufgehoben wird, ist in dem Kapitel 24 (Das ausgeschnittene Warmblüterherz) bemerkt. In allen anderen Fällen muß für die Aufhebung der Gerinnung gesorgt werden. Das älteste Mittel, das hierzu verwandt worden ist, ist die wiederholte Blutentziehung, Defibrinieren dieses Blutes, und wieder Zurückführen in die Zirkulation. Pick (1899) wendet dieses Verfahren folgendermaßen an:

Er (S. 403) macht das Blut dadurch ungerinnbar, daß er dem Tier in Intervallen von einer halben Stunde ein Viertel der gesamten Blutmenge entnimmt, es durch Schlagen defibriniert, durch Tücher koliert und in eine Vene injiziert. Diese Prozedur muß bei Tieren, die seit 24 Stunden nichts gefressen haben (Hunden), sechs- bis siebenmal wiederholt werden, bis das Blut kein nennenswertes Koagulum mehr gibt. Die Vorbereitungen dauern also zwei bis drei Stunden. Diese Methode, nach der im Verlauf einer mehrstündigen Versuchsreihe niemals Gerinnungen auftraten, haben vor Pick Lewaschew und Salvioli benutzt.

Sie wird in der neueren Zeit nicht mehr angewandt, nachdem man Stoffe kennen gelernt hat, die, im übrigen unschädlich, die Gerinnung des Blutes aufheben. Peptone bezw. Albumosen erweisen sich für hämodynamische Versuche ungeeignet, vor allem, weil sie in zu großen, den tödlichen nahestehenden Dosen den Tieren einverleibt werden müssen, um die von Schmidt-Mülheim entdeckte Herabsetzung der Gerinnungsfähigkeit des Blutes hervorzurufen. Bei weitem vorteilhafter hierzu ist der Extrakt aus Blutegelköpfen zu verwenden, dessen gerinnungshemmende Eigenschaft von Haycraft 1884 entdeckt worden ist. Bock hat (1898) ein Verfahren angegeben, um in rationeller Weise ein wirksames Extrakt aus den Blutegelköpfen (Blutegelzucht von Stötter, Hildesheim) herzustellen. Er beschreibt das Verfahren folgendermaßen:

„Das Verfahren zur Darstellung des Blutegelauszuges ist folgendes: Etwa vier bis fünf Stunden vor Gebrauch des Auszuges werden so vielen Blutegeln die Köpfe abgeschnitten, daß auf 1 kg des zu dem Blutdruckversuch dienenden Tieres drei Stück kommen. Die Köpfe werden mit trockenem Sand zerrieben und für je einen Kopf 1 ccm einer Chlornatriumlösung von 0.7 % hinzugefügt. Man läßt das Gemisch unter öfterem Umschütteln zwei

Stunden stehen und zentrifugiert es dann. Die erhaltene Flüssigkeit bildet den unverdünnten Blutegelauszug, der zur Einspritzung in die Vene des Versuchstieres dient. Dem Bodensatz in den Zentrifugengläsern, der also aus einem Gemenge von zerriebenen Blutegelköpfen und Sand besteht, wird eine größere Menge Chlornatriumlösung von 0.7 % hinzugefügt, unter mehrmaligem Umschütteln ein paar Stunden stehen gelassen und die Flüssigkeit dann abzentrifugiert. Dieser zweite Aufguß, der noch deutliche gerinnungshemmende Eigenschaften besitzt, bildet den ‚verdünnten Blutegelauszug' und dient zur Füllung der Röhren des Manometers und Widerstandsapparates" (s. Kap. 24, S. 150).

Die Injektion von Blutegelextrakt wird erst gegen Ende der Operation vorgenommen, sonst würden die Blutungen während der Operation nur schwer stillbar sein.

In neuerer Zeit ist es Franz (1903) unter der Leitung von Jacobj gelungen, den wirksamen, von Jacobj als Hirudin bezeichneten Stoff des Blutegelextraktes darzustellen. Er ist vermutlich eine den Peptonen sich nähernde Albumose. Seine Herstellung hat nach den Vorschriften von Franz die Firma E. Sachse & Co. in Leipzig-Reudnitz übernommen. Das Hirudin wird von dieser Firma in verschlossenen Glasröhren geliefert. Über seine Wirksamkeit gibt die Gebrauchsanweisung Auskunft.

Seit dieser Darstellung ist das Hirudin bereits in vielen Untersuchungen benutzt worden. Seine vorzüglichen Eigenschaften haben sich bestätigt. So hat es Tigerstedt (1907) bei seinen Untersuchungen angewandt, und von Hertzen und Oehmann (1907), und früher Bodong haben wiederholt konstatiert, daß Hirudin keinen Einfluß auf Herz- und Gefäßtätigkeit hat. Die nach Injektion eintretende Drucksenkung verschwindet bereits nach zwei bis drei Minuten wieder. Tigerstedt konnte seine Bestimmungen des Schlagvolumens des Herzens mit der Stromuhr mehrere Stunden lang ausdehnen. Sie wurden niemals wegen eintretender Gerinnung unterbrochen. Das Hirudin wurde den Kaninchen unmittelbar vor der letzten Operation an der Aorta in Mengen von 1 mg pro 7.5 ccm Blut (Blutmenge = 5 % des Körpergewichtes) in die Vena jugularis eingespritzt.

Bayliss (persönl. Mitteilung) empfiehlt 0.03 gm pro Kilo Tier in verdünnter physiol. Kochsalzlösung langsam einzuspritzen. Dann tritt keine Blutdrucksenkung ein. Es wirkt für zwei Stunden. Um Stoff zu sparen, kann man das Tier exenterieren und die Nierengefäße unterbinden (s. S. 372).

b) Mittel, welche die Gerinnung in den toten Strombahnen der Manometer usw. aufheben sollen.

Früher hat man, besonders in dem Ludwigschen Laboratorium, eine Lösung von kohlensaurem Natron zur Füllung der Manometerröhren und zur Verhinderung der Gerinnung des Blutes, das in diese Röhren eindringt, benutzt. Durch dieses Verfahren wird aber die Gerinnung nur etwas verlangsamt und nicht vollständig aufgehoben. Deshalb ist man später zu einem kräftiger wirkenden Mittel, der schwefelsauren Magnesia in konzentrierter Lösung, übergegangen. Es ist kein Zweifel, daß hierdurch die Gerinnung in vollständig zureichender Weise auch für lange dauernde Versuche auf-

gehoben wird. Aber nach den Untersuchungen von Mac William, Mackie und Murray (1904) erzeugt eine gesättigte Sodalösung und 25 % Magnesiumsulfatlösung sehr erhebliche Störungen der Atmung, des Herzschlags und des Blutdrucks. Natriumsulfat ist weniger schädlich. Vorzuziehen wären nach diesen Autoren Lösungen von Natriumzitrat 1 % und Natriumoxalat 2 %. Die letztere Lösung war schon von Thunberg (1898) empfohlen worden. Dem möchte ich hinzufügen, daß ich Ammoniumoxalat vor Jahren als gerinnungshemmendes Mittel versucht habe, daß es aber in vielen Fällen versagte, und daß es immerhin nicht ungiftig ist. Wie mir Herr Kollege Straub, Freiburg, mitteilte, läßt sich der wässerige Extrakt von Blutegeln (oder Hirudin) sehr gut zu diesem Zweck verwenden.

Sehr wichtig ist die Lagerung der Kanüle. Sie muß so stattfinden, daß entsprechend der Verschiedenheit der spezifischen Gewichte der Lösung wie des Blutes nicht zu viel Lösung in den Kreislauf eindringt.

Bock 1898. Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Gifte auf das isolierte Säugetierherz. (Pharmakol. Labor. Straßburg.) Arch. f. exper. Pathol., XLI, S. 158.

Cyon 1868. Über die Wurzeln, durch welche das Rückenmark die Gefäßnerven für die Vorderpfote aussendet. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wissensch., XX, S. 73.

Franz 1903. Über den die Blutgerinnung aufhebenden Bestandteil des medizinischen Blutegels. Arch. f. exper. Pathol., IL, S. 342.

Haycraft 1884. Über die Einwirkung eines Sekrets des offizinellen Blutegels auf die Gerinnbarkeit des Blutes. Arch. f. exper. Pharmakol u. Pathol., XVIII, S. 208.

Heidenhain 1871. Über Cyons neue Theorie der zentralen Innervation der Gefäßnerven. Pflügers Arch., IV, S. 551.

von Hertzen und Oehmann 1907. Über die Einwirkung des Hirudins auf den Kreislauf. Skand. Arch. f. Physiol., 20, S. 1.

Latschenberger und Deahna 1876. Beitrag zur Lehre von der reflektorischen Erregung der Gefäßmuskeln. (Physiol. Institut Freiburg.) Pflügers Arch., XII, S. 157.

Lewaschew 1882. Notiz zur Methodik der hämodynamischen Experimente. Pflügers Arch., XXVII, S. 273.

Lovén 1866. Über die Erweiterung von Arterien infolge einer Nervenerregung. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss., Mai.

Pick 1899. Über Beeinflussung der ausströmenden Blutmenge durch die Gefäßweite ändernde Mittel. (Pharmakol. Institut Prag.) Arch. f. exper. Pathol., XLII, S. 399.

Salvioli 1891. Über Todesursachen nach Verbrennung. Virchows Archiv, CXXV, S. 364.

Thunberg 1898. Zur Methodik der Blutdruckversuche. (Physiol. Labor. Upsala.) Zentralbl. f. Physiologie, XII, S. 73.

Tigerstedt 1907. Neue Untersuchungen über die von dem linken Herzen herausgetriebene Blutmenge. Skandinav. Arch. f. Physiol., 19, S. 1.

Tillie 1890. Über die Wirkungen des Kurare und seiner Alkaloide. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol., 27, S. 1.

Mac William with Mackie and Murray 1904. Intravascular injections of salts and of nucleoproteids. Journ. of physiol., 30, p. 381.

Kapitel 62.

Eröffnung des Thorax.

Die Methoden zur Eröffnung des Thorax sind teilweise in den Kapiteln 27 (Kardiographie des bloßgelegten Herzens) und 44 (Volumveränderungen der Herzhöhlen), und 50, 51 (Respiratorische Schwankungen des Blutdrucks

und der kleine Kreislauf) beschrieben. Für Fische, Frösche und Vögel finden sich Methoden in Gscheidlen, Physiologische Methodik, S. 519—20 angegeben. Eine ganze Reihe von Maßnahmen an dem Herzen und den großen Gefäßen kann man durchführen, wenn man den Thorax einfach in der Mittellinie auseinander schneidet, wie das C. Ludwig (1849) beschreibt (S. 218):

„Eröffnung der Brusthöhle. Hierauf eröffnet man nach einer sehr praktischen Angabe von L. Fick die Brusthöhle durch einen im Brustbein geführten Längsschnitt, zieht die Brusthälften auseinander, unterbindet möglichst die arteria mammaria jederseits und trägt nun mit Schonung des musculus pectoralis und musculus serratus anticus so viel von den Rippen ab, um mit Bequemlichkeit in dem Brustkasten arbeiten zu können. Bei dieser Operation muß jede Blutung soviel als möglich vermieden werden. Je mehr Blut man zu erhalten versteht, um so schöner schlägt das Herz." Die beiden Brusthälften werden durch Muskelhaken auseinander gehalten.

Ist man genötigt, den Thorax in größerer Ausdehnung zu eröffnen, so muß man Rippen resezieren unter den bei dieser Operation notwendigen Vorsichtsmaßregeln. Hierbei wird fast immer am besten eine mammaria interna unterbunden, was sowohl bei dem Hund als bei dem Kaninchen leicht möglich ist.

Erikson (1907) gibt für diese Operation folgende Regel:

„Zur Freilegung des Herzens wurden die Haut und die Brustmuskeln in genügender Ausdehnung abgelöst, die Rippen an beiden Seiten des Brustbeins in 4 cm Entfernung davon abgebunden und in jedem Rippenzwischenraum eine Ligatur um das Brustbein herumgelegt. Hierdurch wurde es mir möglich, die Brusthöhle ohne Blutung aus den Arteriae mammariae und intercostales weit zu eröffnen. Nachdem dann das Perikardium gespalten und an den zurückgebliebenen Rändern des Brustkastens genäht worden war, wurde in den Stamm der Lungenarterie eine seitenständige Kanüle nach dem Vorgange von Mellin eingeführt und mit dem Hg-Manometer verbunden."

Daß für die Eröffnung des Thorax die Methode von Sauerbruch-Brauer (siehe Bd. I, 1 S. 53) auch bei Tieren gute Dienste leisten kann, ist von Henderson (1906, S. 333/34) gezeigt worden.

Oft hat man den Versuch gemacht, die bei der Eröffnung des Thorax im allgemeinen stets erfolgende Verletzung einer oder der beiden Pleuren oder des Perikards zu vermeiden oder unschädlich zu machen. Landgraf (1892) hat bei seinen Versuchen über den Einfluß einer Unterbindung der Pulmonalarterie (siehe Kap. 51) die Eröffnung der Pleura vermieden, indem er das Sternum, wie oben beschrieben, genau in der Mittellinie spaltete.

Fredericq (1886, siehe Kap. 51) hat verschiedene Verfahren ausgedacht, durch die es ermöglicht werden soll, die Veränderungen des Drucks in den Pleurahöhlen und dem Perikard, die durch die Eröffnung des Thorax erzeugt worden waren, durch geeignete Maßnahmen aufzuheben. Vgl. auch die Methode von Heger und Spehl (1881, im Kap. 50, S. 295).

Wie bei Vögeln der Thorax für Beobachtungen am Herzen geöffnet werden kann, beschreibt Knoll (1897, S. 590).

„Behufs Bloßlegung des Herzens bei der Taube wurde an der gerupften Brust die Haut längs der ganzen crista sterni gespalten und an der linken Brusthälfte zur Seite präpariert, dann wurde die Muskulatur der linken Brusthälfte mittels des Messers von der crista sterni abgetrennt, durch ein stumpfes Werkzeug vollends vom Sternum losgelöst und mittels mit Haken versehener Gewichte möglichst weit nach links gezogen. Dabei trat nur nach dem ersten Muskelschnitt eine etwas reichlichere, nach Zurückziehung der Muskulatur fast ganz verlöschende Blutung auf. Dann wurde mittels einer Knochenschere das linke Sternalblatt, von dem ventralen Rande desselben ausgehend, und das linke os coracoideum zum größten Teile abgetragen und das Herz durch Spaltung des Perikards bloßgelegt."

Erikson 1907, siehe Kap. 51.
Fredericq 1886. Procédé opératoire nouveau pour l'étude physiologique des organes thoraciques. Trav. du labor., I, S. 55.
Henderson 1906. Siehe Kap. 44.
Knoll 1897. Über die Wirkungen des Herzvagus bei Warmblütern. Pflügers Arch., LXVIII, S. 587.
Landgraf 1892. Klinisches und Experimentelles zur Lehre von der Embolie der Lungenarterie. Zeitschr. f. klin. Med. XX S. 181.
Ludwig 1849. Über den Bau und die Bewegungen des Herzventrikels. Ztschr. f. rat. Med., 7, S. 189.

Kapitel 63.

Durchschneidung von Herzmuskelteilen.

Bei einer Reihe von Untersuchungen sind Durchschneidungen von Herzteilen oder Unterbrechungen der Leitung durch Quetschen, Unterbinden, vorgenommen worden, um die Bahn der Erregung in dem Herzen oder auch die intrakardialen Bahnen der Herznerven festzustellen. Bei dem Froschherzen bieten die Durchschneidungsversuche im allgemeinen keine Schwierigkeiten. Ich erinnere, abgesehen von den Stanniusschen Versuchen (1863), siehe Gscheidlen, Physiologische Methode, S. 634, Eckhard, 1860, auch Löwit 1880), nur an den Zickzackversuch von Fick (1874), weiter an die Untersuchungen von His (1893, anatomisch!), Gaskell (1883), an die lineare Längsquetschung von Froschherzen, die von den Tieren oft zwei bis drei Tage überlebt wird (v. Vintschgau, 1895), an Bernsteins Versuche an der abgeklemmten Herzspitze (1876).

Engelmann (1875, S. 466) schildert den Fickschen Zickzackversuch wie folgt:

„Man zerschneide die Herzkammer eines eben getöteten Frosches mit einer feinen, bis zur Spitze scharfen Schere in zwei oder mehr, jedesmal nur durch eine ganz schmale Brücke von Muskelsubstanz noch zusammenhängende Stückchen. Nach einiger Zeit kontrahieren sich dann auf Reizung eines dieser Stückchen nacheinander auch die anderen."

Technisch von besonderem Interesse ist die Herstellung des Scheidewandnervenpräparates nach Hofmann (1895), der es bei seinen Untersuchungen über die direkte Wirkung einer Vagus- oder Akzeleranserregung auf die Herzkammer benutzt hat.

Hofmann beschreibt sein Verfahren (S. 142): „Ich befestigte das ausgeschnittene Herz mittels kurzer Stecknadeln, welche in die Aorta und in die Ansätze des Perikards an den Hohlvenen eingestochen wurden, auf einer Wachsplatte. Dann trug ich die äußere Wand des linken (oder rechten) Vorhofes so weit ab, bis ich die Scheidewand mit ihren Nerven bequem überblicken konnte. Ein so präpariertes Herz schlägt vollkommen regelmäßig lange Zeit weiter, jede oder wenigstens jede zweite Kontraktion des Sinus pflanzt sich auch auf den Vorhof und Ventrikel fort."

An dem Präparat führt Hofmann verschiedene Maßnahmen, wie Durchschneidung der Scheidewandnerven oder der Vorhofwände mit Erhaltung der Scheidewandnerven usw. aus.

Weiter isoliert er die Scheidewandnerven für die elektrische Reizung in der folgenden Weise (S. 157): „Ich schnitt das Herz aus dem Körper

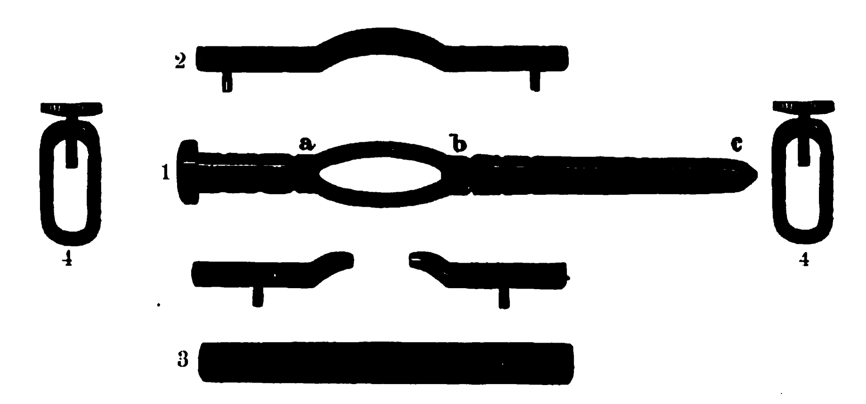


Fig. 1.
Atriotom nach Tigerstedt. 1 der Stab, 2, 3 die Schienen von unten und der Seite, 4 die Schrauben, 5 Schienen für die teilweise Abklemmung.

heraus, fixierte es und legte die Scheidewandnerven in der früher angegebenen Weise frei. Letztere wurden sodann möglichst weit oben an der Grenze zwischen Sinus und Vorhof unterbunden und bis zu ihrem Eintritt in die Atrioventrikularganglien von dem anliegenden Gewebe frei präpariert."

Schwieriger sind die Durchschneidungsversuche an dem Warmblüterherzen durchzuführen. Sie wurden hauptsächlich an der Stelle zwischen Vorhof und Ventrikel vorgenommen, um hier die Bahnen, auf denen die Erregung vom Vorhof zum Ventrikel übergreift, festzustellen. Die älteren Versuche sind von Kent (1893), His (1894/95) und Humblet (1904) ausgeführt worden.

Vor der Durchschneidung der Muskulatur des Warmblüterherzens hat man zur Unterbrechung der Leitung Quetschungen vorgenommen. Wooldridge (1883) und Krehl und Romberg (1893) quetschten die Vorhöfe an der Atrioventikulargrenze von den Ventrikeln ab. Tigerstedt (1884) führte dies mit einem besonderen Apparat, dem Atriotom, durch (beschrieben Lehrbuch S. 216). (Siehe auch Erlanger, 1905 und 1906.)

„Der mit einem ovalen Loch versehene Stab wird von dem linken Vorhof durch die Scheidewand in den rechten Vorhof geführt, und zwar so, daß die Öffnung zwischen

a und b in die Vorhöfe zu liegen kommt. Außerhalb der Vorhofwand wird an jeder Seite des Stabes je eine der genau nach dem Stabe gekrümmten Schienen angebracht und fest an den Stab angeschraubt. Wenn dies mit genügendem Druck geschieht, so wird die Vorhofswand zwischen den Schienen und dem Stab so gründlich zusammengepreßt, daß jeder nervöse Zusammenhang zwischen Vorhof und Kammer sicher aufgehoben ist. Um aber auch die letzte Möglichkeit eines solchen außer Frage zu stellen, sind die beiden Schienen in ihrer Mitte mit einer longitudinalen Spalte versehen, in welche man ein scharfes und dünnes Messer hineinführen kann, um die Vorhofwand vollständig durchzuschneiden. Die Wand wird durch die starke Pressung der Schienen gegen den Stab in ihrer Lage zurückgehalten. Die Blutzirkulation geht durch ein so zugerichtetes Herz ganz gut fort, und man kann den Blutdruck mittels eines in die Art. carotis eingesetzten Manometers in gewöhnlicher Weise aufschreiben."

Besonders Hering (1905) hat darauf hingewiesen, daß man zu Durchschneidungsversuchen sehr gut das ausgeschnittene, nach dem Langendorffschen Verfahren durchblutete, oder mit Ringerlösung durchströmte Warmblüterherz verwenden kann. Er hat einige Versuche durchgeführt, in denen ihm die Einengung der Strecke, auf der die Erregung von dem Vorhof zu dem Ventrikel verläuft, bis auf wenige Millimeter gelang. Da von ihm die ausführlichste Mitteilung über das Verfahren herrührt, wiederhole ich hier seine Angaben (S. 271):

„Durchschneidung des Übergangsbündels.

Um das Bündel zu durchschneiden, gehe ich folgendermaßen vor. An dem schlaglosen, in situ befindlichen Herzen mache ich in dem rechten Vorhof einen Sagittalschnitt, der beiläufig parallel zur cava superior geht; links vom Schnitt liegt dann das rechte Herzohr. Mit zwei stumpfen Haken lasse ich die Schnittränder vorsichtig vom Assistenten auseinander halten, gehe mit einer Pinzette und einer kleinen Schere (oder einem kleinen Messer) durch die Öffnung, fasse mit der Pinzette einen Teil des medialen Zipfels der Trikuspidalklappe, durchschneide seine Sehnenfäden und präpariere den Zipfel bis zu seiner Ansatzlinie so frei, daß er gegen den rechten Vorhof zurückgeschlagen werden kann, und zerschneide ihn in einen linken und rechten Teil, und zwar dort, wo das Bündel zu durchschneiden ist. Diesen Ort bestimme ich auf folgende Weise. Nachdem ich mir an dem in situ liegenden Herzen angesehen habe, in welcher Höhe der vom rechten Herzohr bedeckte bulbus aortae entspringt und welche Richtung die aorta ascendens nimmt, ziehe ich entlang dieser Richtung bis zu dem präparierten Klappenzipfel in Gedanken eine Linie, und schneide dort, wo die gedachte Linie die Ansatzlinie des Klappenzipfels trifft, letzteres durch und steche hier — wo sich, wie gesagt, jene gedachte Linie und die Ansatzlinie des Klappenzipfels kreuzt — ein.

Sticht man, bezw. schneidet man an diesem Orte ein, so kommt die Spitze des schneidenden Instruments an der linken Seite an einer Stelle zum Vorschein, welche unterhalb der valvula seminularis posterior aortae gelegen ist. Zieht man eine Linie von dem Punkt, an welchem sich die valvula posterior und valvula dextra berühren, gegen den linken Ventrikel und eine Linie von der Mitte der valvula posterior ebenfalls gegen den linken Ventrikel, so schließen diese rechte und linke Linie den Bezirk ein, innerhalb dessen unterhalb der valvula posterior die Spitze des Instruments erscheint. Es ist das die Gegend der pars membranacea.

Da es bei der Durchströmungsmethode von der Aorta aus zweckmäßig ist, die Aortenklappen nicht anzuschneiden, ist es erwünscht (wenn es auch prinzipiell am Ausfall des Versuches nichts ändert), daß der Schnitt nicht so hoch hinaufreicht, daß die hintere Aortenklappe verletzt wird, was auch zur Durchschneidung des Bündels gar nicht nötig ist. Man spürt es übrigens beim Einschneiden sehr gut, ob man mit dem Messer der Aortenwand zu nahe gekommen ist, da das Messer hier beim Eindringen einen stärkeren Widerstand erfährt."

Hering (1905) hat die Frage der Überleitung der Erregung vom Vorhof zum Ventrikel auch noch per exclusionem dadurch zu lösen versucht,

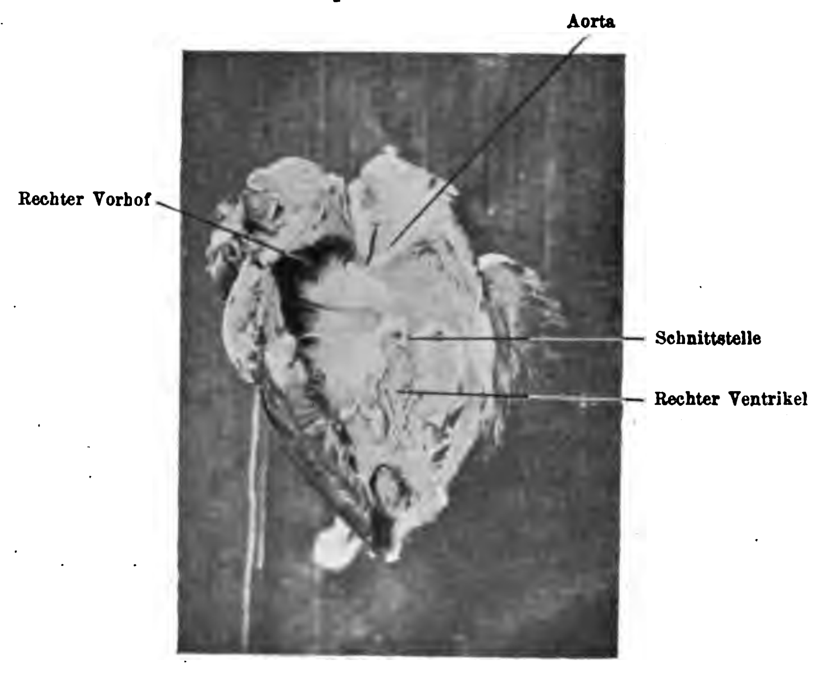


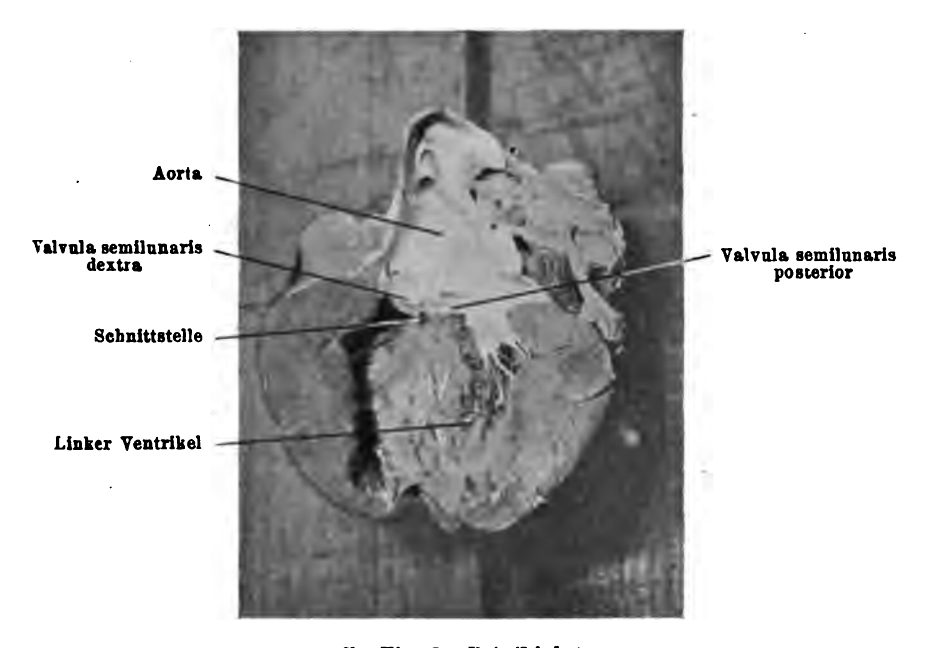
Fig. 2. A 1 (Rechts).
Durchschneidung des Übergangsbündels beim Hundeherzen nach Hering. (VI. Versuch am 1. März 1905.)

daß er alle Verbindungen zwischen Vorhof und Ventrikel außer der Scheidewand durchtrennt hat. Sein Verfahren ist das folgende (S. 98):

„Am Hundeherzen trennte ich durch einen parallel zur Scheidewand gehenden sagittalen Schnitt die Verbindung des rechten Vorhofes mit dem linken Vorhof und der Scheidewand vollständig durch. Der rechte Vorhof stand nach erfolgter Durchschneidung mit seiner vorderen, seitlichen und hinteren Wand mit dem rechten Ventrikel in anatomischer Verbindung, während die muskulöse Verbindung mit der Scheidewand und dem linken Vorhof vollständig aufgehoben wurde. Um letzteres wirklich vollständig zu erreichen, muß man die Vorhofmuskulatur bis zum Ansatz der Atrioventrikularklappen durchschneiden; am sichersten ist es, wenn man auch noch diesen Ansatz mit durchschneidet, denn gerade in dieser Gegend kommt es am

leichtesten vor, daß man die Durchtrennung nicht ganz durchführt, und dann kann das Stehenbleiben einer verhältnismäßig sehr kleinen Muskelbrücke schon dazu führen, daß die Erregung entlang dieser kleinen Muskelbrücke von dem sonst isolierten rechten Vorhofe zur Scheidewand und den Ventrikeln gelangt.

Die geschilderte Durchschneidung wurde nach Verblutung der Hunde entweder am schlaglosen Herzen oder nach Einleitung der künstlichen Durchströmung am schlagenden Herzen vorgenommen. Erstere Methode habe ich hauptsächlich deswegen verwendet, um das am schlagenden Herzen beim Einschneiden und Manipulieren leicht eintretende Flimmern des Herzens zu vermeiden.



Zu Fig. 2. B 1 (Links).

Unter Umständen tritt aber auch nach der Operation am schlaglosen Herzen bei der Durchströmung Flimmern der Ventrikeln ein; dieses wurde immer mit Erfolg durch Injektion von KCl beseitigt.

In der letzten Zeit habe ich die Durchschneidung meist am schon durchströmten Herzen gemacht, hauptsächlich um mich davon zu überzeugen, daß das ganze Herz schlägt, und zweitens, um nach Möglichkeit die Koronargefäße zu schonen, welche den rechten Vorhof versorgen. Man sieht die Koronargefäße am durchströmten Herzen vielfach besser; spritzende Gefäße wurden mit einer kleinen Klemmpinzette abgeklemmt."

Fredericq war schon 1901 (vorläufige Mitteilung) in ganz ähnlicher Weise vorgegangen wie Hering.

Daß die zwischen Aorta und Pulmonalis ziehenden Nervi accelerantes und der Vagus noch auf das Langendorffsche Herz, ja selbst auf die

von den Vorhöfen glatt abgetrennten Kammern wirkt, ist von Hering in den Jahren 1903—1906 durch verschiedene Untersuchungen gezeigt worden.

Fredericq (1904, Referat Hermann) beschreibt ein Verfahren, um bei Hunden nach Zuklemmung der Hohlvenen und Unterbindung der Azygos durch einen Einschnitt in den rechten Vorhof in das Innere des Herzens einzudringen, und daselbst Operationen, z. B. Durchschneidung des Vorhöfe und Kammern verbindenden Muskelstranges, auszuführen. Nachher wird der Schlitz im Vorhof durch eine besondere Klemme wieder verschlossen, und das Herz schlägt in günstigen Fällen weiter. Oft treten Fibrillärkontraktionen ein, welche man durch künstliche Durchströmung nach Langendorff mit Lockescher Flüssigkeit, am besten zur Hälfte mit defibriniertem Blut versetzt und mit Sauerstoff gesättigt, wieder beseitigen muß.

Ich verweise hier auch auf die Beobachtung von Tigerstedt (1890), daß man die Blutzufuhr zu den Kammern durch eine über die Vorhöfe gelegte Klemme 3—5 Minuten lang verhindern kann, ohne daß das Tier stirbt. (Siehe Kap. 44 S. 252.)

Bernstein 1876. Über den Sitz der automatischen Erregung im Froschherzen. Med. Zentralbl., S. 385 u. S. 435.

Eckhard 1860. Kritische Beleuchtung der über die Ursachen der Herzbewegung bekannten Tatsachen. Beiträge zur Anat. u. Physiol., II, S. 123.

Engelmann 1875. Über die Leitung der Erregung im Herzmuskel. Pflügers Arch., XI, S. 465.

Erlanger 1905. Heart block in mammals. (Johns Hopkins Hosp. med. Soc.) Bull. Johns Hopkins Hosp., Vol. 16, p. 202.

Erlanger 1906. On the physiology of heart-block in mammals, with especial reference to the causation of Stokes-Adams disease. Journ. of exper. med., 8.

Fick 1874. Berichte der physik.-mediz. Ges. Würzburg.

Fredericq 1901. Sur les pulsations de la veine cave supérieure et des oreillettes du cœur chez le chien. (Communication préliminaire.) Bullet. d. l'acad. d. Belg. Cl. d. science, p. 126.

Fredericq 1904. L'atriotomie temporaire, procédé nouveau d'exploration des fonctions du cœur. (Institut de physiol. Liège.) Arch. internat. d. physiol., I, p. 83.

Gaskell 1883. On the innervation of the heart, with especial reference to the heart of the tortoise. (Physiol. Labor. Cambridge.) Journ. of physiol., IV, p. 43.

Hering 1903. Über die Wirksamkeit des Akzelerans auf die von den Vorhöfen abgetrennten Kammern isolierter Säugetierherzen. Zentralbl. f. Physiol., 17, S. 1.

Hering 1905. Über die Erregungsleitung zwischen Vorkammer und Kammer des Säugetierherzens. Pflügers Arch., 107, S. 97.

Hering 1905, Nachweis, daß das Hissche Übergangsbündel Vorhof und Kammer des Säugetierherzens funktionell verbindet. Zweite Mitteilung. Pflügers Arch., 108, S. 267.

His 1893. Arbeiten der mediz. Klinik zu Leipzig.

His 1894. Wiener mediz. Blätter.

His 1895. Zentralbl. f. Physiol., S. 469.

Hofmann 1895. Über die Funktion der Scheidewandnerven des Froschherzens. (Deutsch. physiol. Institut Prag). Pflügers Arch., LX, S. 139.

Humblet 1904. Le faisceau inter-auriculo-ventriculaire constitue le lien physiologique entre les oreilettes et les ventricules du cœur du chien. Arch. internat. de physiol., Vol. 1.

Kent 1893. Journ. of physiol., 14. p. 239.

Krehl und Romberg 1893. Arbeiten aus der mediz. Klinik zu Leipzig, S. 50.

Löwit 1880. Beiträge zur Kenntnis der Innervation des Froschherzens. Pflügers Arch., XXIII, S. 313.

Stannius 1852. Müllers Arch., S. 85.
Tigerstedt 1884. Arch. f. Anat. und Physiol., S. 497.
Tigerstedt 1890. Siehe Kap. 51.
v. Vintschgau 1899. Die Folgen einer linearen Längsquetschung des Froschherzens. (Physiol. Institut Innsbruck.) Pflügers Arch., LXXVI, S. 59.
Wooldridge 1883. Über die Funktion der Kammernerven des Säugetierherzens. (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 522.

Kapitel 64.

Reizung des Herzmuskels. Leitung der Erregung.

Auf die verschiedenen Vorrichtungen zur Reizung des Herzens erscheint nicht notwendig, hier näher einzugehen. Man hat mit polarisierbaren und mit unpolarisierbaren Elektroden gereizt. Bei Durchleitung des konstanten Stroms sind selbstverständlich unpolarisierbare Elektroden anzuwenden. Zur rhythmischen Reizung des Herzens kann man rheotomartige Vorrichtungen benutzen, wie dies von Walther (1900) und Trendelenburg (1903) geschehen ist.

Rihl (1906) berichtet über einen von Hering angegebenen Apparat, mit dem automatisch während der Systole oder auch während der Diastole in bestimmten Phasen der Herzmuskel durch Öffnungs- oder Schließungsschläge gereizt wird. Es wird dadurch event. Bigeminie erzeugt.

Die Geschwindigkeit der Erregungsleitung ist mit verschiedenen Methoden festgestellt worden. Teilweise durch Beobachtung der Aktionsströme, bezw. des Elektrokardiogramms, teilweise durch Beobachtung des Kontraktionsfortschrittes.

Die erstere Methode ist wiederum in verschiedener Weise angewandt worden. So hat man die Leitungszeit bestimmt bei Ableitung von zwei unverletzten Stellen aus dem Intervall vom Beginn des Aktionsstromes bis zum Gipfel der ersten Phase (Burton-Sanderson und Page 1880), oder bei künstlicher Reizung aus dem Zeitintervall zwischen dem Moment der Reizung an einer und Beginn des Aktionsstromes bei Ableitung von einer anderen Stelle, richtiger aus der Differenz dieses Zeitintervalles bei Reizung einer von der Ableitungsstelle entfernteren und einer ihr näheren Stelle.

Langendorff hat bei dem ausgeschnittenen Säugetierherzen die Zeit zwischen zwei sekundären Zuckungen zweier Nervenmuskelpräparate, die an verschiedenen Stellen auflagen, benutzt (siehe Schlüter, 1902).

Bayliss und Starling (1891) haben ebenfalls die Aktionsströme des Herzens zur Feststellung der Leitungsgeschwindigkeit benutzt.

Wie man leicht sehen kann, haben alle diese Bestimmungen nur Gültigkeit, wenn gewisse theoretische Voraussetzungen über den Ablauf der Aktionsströme zutreffen. Wenn auch in der neueren Zeit mit dem Saitengalvanometer die Aktionsströme korrekter verzeichnet werden, so muß doch erst eine gründliche Analyse des Elektrokardiogramms vorgenommen werden, ehe an eine gesicherte Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit auf diesem Wege gedacht werden kann (vgl. Kap. 34).

Waller und Reid (1887) haben durch Verzeichnung der Verdickungs-

kurven an zwei verschiedenen Stellen des Ventrikels die Leitungsgeschwindigkeit festzustellen gesucht.

Bayliss and Starling 1891. On the electromotive phenomena of the mammalian heart. Proced. physiol. soc., p. XX.
Bayliss and Starling 1892. On the elektromotive phenomena of the mammalian heart. Intern. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol., IX.
Burton-Sanderson and Page 1880. Journ. of Physiol., II, S. 424.
Engelmann 1878. Über das elektrische Verhalten des tätigen Herzens. Pflügers Arch., XVII, S. 68.
Rihl 1906. Zwei Apparate zur künstlichen Herzreizung. Ztschr. f. exp. Pathol. u. Therapie, 2, S. 353.
Schlüter 1902. Die Reizleitung im Säugetierherzen. (Physiol. Institut Rostock.) Pflügers Arch., 89, S. 87.
Trendelenburg 1903. Untersuchungen über das Verhalten bei rhythmischer elektrischer Reizung. (Physiol. Institut Freiburg.) Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 271.
Waller and Reid 1887. On the action of the excised mammalian heart. Philos. Transact. Roy. Soc., CLXXVIII, p. 215.
Walther 1900. Zur Lehre vom Tetanus des Herzens. (Physiol. Institut Leipzig.) Pflügers Arch., LXXVIII, S. 597.

Kapitel 65.

Operationen an den grossen Gefässen. Blutgefässtransplantationen.

A. Operationen an den großen Gefäßen.

Von den Operationen, die an den großen Gefäßen ausgeführt worden sind, verdienen eine besondere Erwähnung diejenigen von Tigerstedt an der Aorta ascendens und descendens (siehe Kap. 44), an der Nierenarterie von Landergren und Tigerstedt (1892), von Burton-Opitz und Lukas (1908) an der Nierenvene, von Elving und v. Wendt (1907) an der Bauchaorta. Ferner die Operationen an der Pfortader (v. Tappeiner u. Schmid), an der Vena cava inferior (Biedl 1897, Slavjansky 1874 u. a., siehe Kap. 45, S. 260, 264 u. 269).

Landergren und Tigerstedt (1892) stellten mit der Tigerstedtschen Stromuhr von 2,5 ccm Fassungsvermögen die Stromstärke in der Niere von Hunden fest.

„Die nach einer Morphium-Atropin-Injektion kurarisierten Tiere wurden in die linke Seitenlage gebracht. Die rechte Niere wird extraperitoneal freigelegt, wobei die Muskeln mit Hilfe des Thermokauters durchschnitten werden. Um die Nierenarterie in ihrer ganzen Länge freizulegen, wurde die letzte Rippe zum größten Teil exstirpiert und die Rückenmuskeln bis zum Rückgrat weggeschnitten. Dann erfolgte die Injektion einer Peptonlösung (jetzt wohl besser Hirudin) und danach die Einbindung der Kanülen. Zuerst wurde um die Mitte der Nierenarterie ein Faden gelegt und fest zugeschnürt, der als Handhabe bei der Einführung der Kanülen diente. Dann wurde zuerst die Kanüle in dem peripheren Ende der Nierenarterie befestigt, die Arterie zwischen ihr und dem zur Handhabe dienenden Faden durch-

schnitten, und endlich die zweite Kanüle mit dem zentralen Ende der Nierenarterie verbunden. Dieser letzte Abschnitt der Operation dauerte in der Regel etwa 15 Minuten."

Elving und v. Wendt (1907, S. 119) benutzten die Tigerstedtsche Stromuhr zur Feststellung der Stromstärke in der Bauchaorta des Kaninchens. „Durch einen in der Längsrichtung des Körpers gleich unterhalb der zwölften Rippe gelegten Schnitt wurde die Arterie extraperitoneal bloßgelegt. In dieselbe wurde dann die Stromuhr unterhalb des Abganges der Nierenarterien eingeführt und also die Stromstärke im Hinterkörper bestimmt." Die Stromuhr faßte 2.5 ccm.

Burton-Opitz und Lukas (1908, S. 554) geben eine genaue Beschreibung der Operation an den Nierenvenen.

Die Freilegung der Pfortader und die Maßnahmen zum Einbinden der Stromuhr sind S. 260 nach J. Schmid (1907) beschrieben. Ich teile ferner einen Auszug aus der Abhandlung[1] von v. Tappeiner (1872) über die Unterbindung der Pfortader mit.

S. 208: „Die Operation, welche nötig ist, um den Stamm der Pfortader mit einem Unterbindungsfaden zu versehen, wird, weil sie schon so oft geübt und wiederholt beschrieben worden, keiner weiteren Darstellung bedürfen. Zur Beurteilung meiner Versuche wird dagegen die Bemerkung nicht überflüssig sein, daß ich mit peinlichster Sorgfalt jeden Blutverlust zu vermeiden suchte. Um dieses zu erreichen, wurde die Unterleibshöhle durch einen ausgiebigen Schnitt in der linea alba eröffnet und die bloßgelegte vena porta dadurch fixiert, daß ein Gehilfe das Pförtnerende des Magens mit sorgfältiger Schonung des leicht blutenden Pankreas festhielt; die Pfortader selbst wurde aus ihrem Bauchfellüberzug mittels stumpfer Nadeln erst ringsum ausgelöst, ehe der starke Faden unter dieselbe geschoben wurde. Da ich mir die Aufgabe gestellt hatte, an demselben Versuchstiere den Strom in die Pfortader wiederholt zu unterbrechen und wieder herzustellen, ohne das Gefäß selbst wieder bloßzulegen, so wurde die Unterbindung mit Hilfe eines fingerlangen Zylinders aus poliertem Hartgummi vorgenommen, der in der Entfernung eines halben Zentimeters von seiner nach der Pfortader hinzukehrenden (untern) Basis von einer Öffnung durchbohrt war. Die beiden Enden des unter die Pfortader geschobenen Unterbindungsfadens wurden kreuzweise durch diese Öffnung geführt und über der obern mit zwei Einkerbungen versehenen Basis des Stäbchens vereinigt, so daß der Faden eine achtförmige Schlinge umschrieb. (Ligaturstäbchen von Gräfe.) Durch leichtes Anziehen und Nachlassen der Fäden, welche über dem aus der Bauchwunde hervorragenden Ende des Stäbchens lagen, konnte also nach Belieben die Pfortader geschlossen oder geöffnet werden. War das Stäbchen angelegt, so wurde die Bauchwunde sehr sorgfältig zugenäht und dabei das Stäbchen in eine Stellung an den Bauchdecken befestigt, die jede Behinderung des Stromes in der Pfortader ausschloß. Sollte dann nach Vernähung der Bauchwunde die Pfortader geschlossen werden, so wurden die beiden Enden des Fadens so lange mit sanftem Zuge hervorgehoben, bis sich in der Umschlingung derselben, die auf dem obern Ende des Stäbchens geschah, zwei vorher angebrachte Marken berührten."

Die Operationen an den Koronargefäßen sind in Kap. 37 behandelt.



B. Gefäßtransplantationen.

Es ist schon wiederholt gelungen, Blutgefäße durch Vernähen miteinander zu verheilen. Ich erinnere hier an die Ecksche Fistel und mache besonders auf die neueren Versuche, Blutgefäße zu transplantieren, aufmerksam. Man hat Kaninchen- und Katzengefäße in Hundeblutgefäße oder Venenwände in Arterienwände, und umgekehrt, transplantiert. Aus der großen Zahl von Arbeiten, die in der letzten Zeit zu diesem Zweck unternommen worden sind, führe ich hier nur als Beispiele diejenigen von Carrel (1907) und Guthrie (1907) an.

Burton-Opitz und Lucas 1908. Über die Blutversorgung der Niere. I. Einfluß der Erhöhung des Druckes in den Harnwegen sowie der Reizung und Durchschneidung der den plexus renalis bildenden Nervenfasern. Pflügers Arch., 123, S. 553.
Carrel 1907. Endresultate von Blutgefäßtransplantationen. Zentralbl. f. Physiol., 21, S. 434.
Elving und v. Wendt 1907. Über die Stromstärke in der Aorta abdominalis beim Kaninchen. Skand. Arch. f. Physiol.; 19, S. 119.
Guthrie 1907. Heterotransplantations of blood vessels. Amer. journ. of physiol., 19. p. 482.
Landergren und Tigerstedt 1892. Studien über die Blutverteilung im Körper. 2. Abhandlung. Die Blutzufuhr zu der Niere. Skand. Arch. f. Physiol., IV, S. 241.
Landgraf 1892. Klinisches und Experimentelles zur Lehre von der Embolie der Lungenarterie. Ztschr. f. klin. Med., XX, S. 181.
Schmid 1907. S. Kap. 45.
v. Tappeiner 1872. S. Kap. 45.

Kapitel 66.

Zentren der kardialen und vasomotorischen Nerven.

Ein großer Teil der Zentren, die einen Einfluß auf das Herz und die Gefäße haben, liegt in dem Rückenmark. Man kommt nicht selten bei hämodynamischen Versuchen in die Lage, diese Zentren zu reizen oder ihre Wirkung auf Kreislaufteile durch Durchschneidungen aufzuheben. Ich halte es daher für richtig, hier die Methoden für die Operationen am Rückenmark zu beschreiben. Die ausführliche Schilderung der Freilegung des Rückenmarks entnehme ich (unter A) Cyons Methodik, S. 517. Ich schließe mich dieser Darstellung hauptsächlich deshalb an, weil sie die Methodik und die Forschungsergebnisse der Ludwigschen Schule berücksichtigt, aus der die wesentlichsten Ergebnisse für unsere Kenntnis der komplizierten nervösen Beziehungen des Kreislaufsystems gewonnen worden sind. Im übrigen verweise ich auf meine obige Bemerkung (S. 322) und insbesondere auf den Artikel von Trendelenburg Bd. III, 4 S. 19ff. In Abschnitt B gebe ich noch besonders die Mittel an, die zur Stillung der bei diesen Operationen außerordentlich störenden Blutungen verwendet werden können. Einige besondere Literaturangaben über die Freilegung des verlängerten Marks sind in Abschnitt C referiert. Abschnitt D enthält die Maßnahmen zur Reizung und Durchschneidung der Medulla, insbesondere werden die Vor-

richtungen des Ludwigschen Laboratoriums zur lokalisierten Durchschneidung beschrieben. In den Abschnitten E und F werden die besonderen Angaben über die Operationen an den Medullazentren der Herznerven und an den vasomotorischen Zentren behandelt.

A. Freilegung des Rückenmarks (nach Cyons Methodik, S. 517).

„Nicht alle Teile der Säule bieten gleiche Schwierigkeiten. Der Brustteil des Rückenmarks läßt sich am leichtesten bloßlegen und zwar nicht etwa der geringeren Muskelmasse, sondern der Krümmung der Wirbelsäule wegen, welche die spinalen Fortsätze hier mehr hervortreten läßt. Der Schwierigkeit der Operation nach folgen dann das obere Lendenmark, das Halsmark, das unterste Lendenmark und die Cauda equina. Die Halswirbel sind trotz der Schwäche der Knochen sowohl wegen der Krümmung der Wirbelsäule als wegen des Umstands schwer zu öffnen, daß man dem Halse keine feste Stütze geben kann, ohne zugleich die Atmung zu beeinträchtigen. Die Bloßlegung der Cauda equina bietet besondere Schwierigkeiten, hauptsächlich wegen der starken Blutung aus den venösen Säcken.

a) Stillung der Blutungen s. Abschnitt B.

b) Wahl der Tiere.

Am leichtesten ist die Eröffnung der Wirbelsäule bei Fröschen, dann folgen Meerschweinchen, Kaninchen, Katzen und Hunde. Nur die letzteren Tiere können wirklich große Schwierigkeiten bei der Bloßlegung des Rückenmarks bieten und zwar sowohl wegen der stärkeren Muskulatur als wegen der größeren Resistenz der Knochen. Eine geeignete Wahl junger, nicht zu fetter, aber gut genährter Individuen erleichtert auch hier die Operation und auch solche Hunde vertragen sie sehr gut.

c) Vordringen bis zur Wirbelsäule.

Der Hautschnitt wird bei Eröffnungen der Wirbelsäule in größerer oder geringerer Ausdehnung, je nach der Zahl der zu eröffnenden Wirbelkörper, den Processus spinosi entlang genau in der Medianlinie geführt. Auch für den Ungeübten wird die Einhaltung der Regel keine Schwierigkeit machen, den Hautschnitt immer nur um einen Wirbelkörper länger zu machen, als welche eröffnet werden sollen, und zwar ist es wegen der Führung der Instrumente immer vorteilhaft, den Schnitt immer um einen vorderen Wirbelkörper zu verlängern.

Der Operierende stellt sich auf die linke Seite des in der Bauchlage mit nach vorn geneigtem Vorderkörper festgebundenen Tieres. Der Hautschnitt wird mit einem starken gebauchten Messer und mit einigem Druck geführt, damit das Unterhautgewebe, die Faszien usw., bis zu den Processus spinosi mit einem Schnitte durchtrennt werden. Darauf werden die beiden Wundlippen umgestülpt, um etwaige blutende Gefäße zu unterbinden. Bei der Trennung der in der Furche zwischen den Processus spinosi und den Processus transversi gelegenen Muskeln muß, gleichgültig bei welchem Tier und in welcher Wirbelhöhe die Operation gemacht wird, immer die Regel

streng eingehalten werden, schon mit dem ersten Schnitte die Muskeln ganz vom Perioste zu trennen. Werden Schnitte in die Muskelmasse selbst geführt, so entstehen oft Blutungen, die bei weitem die bei der Eröffnung des Wirbelkanals auftretenden übersteigen.

Es ist sogar empfehlenswert, wo es nur angeht, die Muskeln von dem Knochen nicht durch ein Messer, sondern mit einem halbscharfen Instrument (Taf. II, Fig. 9, Taf. III, Fig. 10 des Atlas, „Knochenschaber“ Referent) womöglich samt dem Periost abzuschaben. Ist dies auf der einen Seite geschehen, so wird ein Schwamm zwischen Muskel und Knochen gesteckt und dasselbe auf der andern Seite gemacht, wobei es bei größeren Tieren vorteilhaft ist, daß der Operierende auf die entsprechende Seite des Tieres hinübergeht.

d) Eröffnung des Wirbelkanals.

Die von den Seitenflächen der Processus spinosi und von den Rückseiten der Bogen abgeschabten Muskeln werden durch die bekannten Präparationshaken (Taf. IV, Fig. 12 des Atlas) nach beiden Seiten hin abgezogen und die Knochenstücke auf diese Weise freigelegt. Die an diesen letzteren vorzunehmende Operation, um das Rückenmark bloßzulegen, kann verschieden gewählt werden. Im allgemeinen lassen sich drei Methoden zur Eröffnung der Wirbelsäule benutzen: 1. Abtragen der Bogen mit der Knochenzange: 2. vorherige Eröffnung des Bogens mit einer Trephine und Fortsetzung der Operation mit der Zange und 3. endlich das Aussägen der Bogen. Keinem dieser Verfahren läßt sich der Vorzug geben. Man wählt das eine oder andere dieser Verfahren, je nach der Gegend, in welcher operiert wird, je nach dem Versuchszwecke, je nach der Stärke der Wirbelbogen und nach dem Grade, in welchem die Bloßlegung der Wirbel gelungen ist. Auch die Geübtheit und die Muskelkraft des Operierenden können über die Wahl im speziellen Falle entscheiden. Im Notfalle kann man aber mit jeder der erwähnten Methoden zum Ziele gelangen.

Bei Meerschweinchen, Kaninchen und bei jungen Katzen kann man mit der Zange allein sehr gut zum Ziele kommen und das Rückenmark in eleganter sauberer Weise bloßlegen. Macht man bei Hunden vorher eine kleine Trepanöffnung, um die Zange leichter einführen zu können, so erleichtert man sich auch bei ihnen die Operation in hohem Grade. Eine saubere Eröffnung des Rückenmarks mit bloßer Zange bei starken Hunden verlangt schon mehr Übung.

Besonders schwierig wird dies, wenn auch die Wurzeln bloßgelegt werden sollen. Man greift in diesem letzteren Falle, wenn man seiner Hand nicht ganz sicher ist, oder wenn man schneller zum Ziele gelangen will, zur Trephine oder zur Säge. Je breiter die zu entfernenden Bogen, umso mehr ist der Gebrauch dieser letzteren Instrumente angezeigt.

Welche der erwähnten Methoden man auch anwendet, jedenfalls erleichtert man sich die Operation ungemein, wenn man, nachdem die Bänder zwischen den Processus spinosi getrennt sind, diese Processus mit einer starken Zange mit löffelartig gestalteten Armen (von der Form der auf Taf. III, Fig. 7 abgebildeten) abträgt (s. Fig. 3).

Wird die Operation weiter mit der Zange fortgesetzt, so benutzt man die

spitze schmale Zange der Taf. I, Fig. 1 (s. Fig. 4). Mit dieser Zange wird der Bogen dicht an den Transversalfortsätzen durchbrochen und dann abgehoben. Man muß beim Einschieben der Zangenspitze zwischen zwei Bogen vorsichtig zu Werke gehen, um nicht zu tief hineinzugeraten, da man sonst Gefahr läuft, das Mark zu verletzen. Die Wurzeln können nur dann getroffen werden, wenn der erste Bogen schon abgebrochen ist und zur Entfernung des benachbarten geschritten wird. Dann läßt man sich der Be-

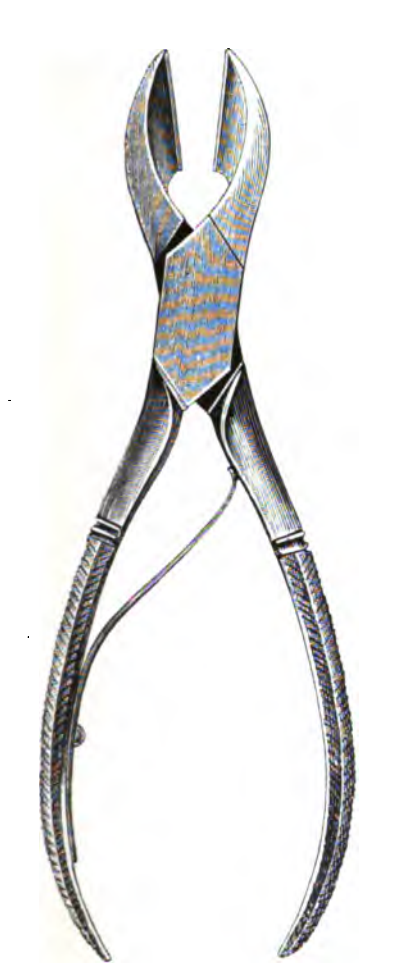




Fig. 3.
Zange nach Cyon zur Eröffnung der Wirbelbogen.



Fig. 4.
Zange nach Cyon zur Eröffnung der Wirbelbogen.

quemlichkeit wegen leicht verleiten, den einen Arm der Zange tief unter diesen Bogen zu schieben, wobei die Wurzeln, wenn auch nicht durchrissen, so doch gequetscht werden können. Man beobachte bei Entfernung der Bogen mit der Zange die Regel, sie immer von außen her anzugreifen: der Beobachter steht auf der Seite des Tieres, wo der Bogen durchtrennt werden

soll, und richtet die Spitzen der Zange von der äußeren Seite des Tieres nach der Medianlinie zu. Werden im Gegenteil die Spitzen von innen nach außen gerichtet, so gerät man leicht in die seitliche Furche des Wirbelkanals und verletzt die Wurzeln:

Die abgetrennten Bogen werden mit der Pinzette entfernt. Haften sie noch durch Bänder oder Muskelfaserzüge an den benachbarten Bogen an, so entfernt man diese Verbindungen mit der Schere.

Ist die Wunde nicht besonders tief, ist also die Muskulatur nicht besonders stark, so kann man, wenn man seiner Hand ganz sicher ist, nachdem der eine Bogen entfernt worden ist, die nächstfolgenden mit Hilfe der Schere, die auf Taf. II, Fig. 4 (s. Fig. 5) abgebildet ist, beseitigen.

Man führt deren dünneres Blatt in möglichst horizontaler Stellung nahe den Querfortsätzen unter den Bogen und durchbricht diesen letzteren. Bei großen Tieren und wenn mehrere Wirbel eröffnet werden sollen, gelangt man mit einer solchen Schere oft schneller zum Ziele.

Soll die Öffnung erweitert werden, z. B. um die Wurzeln in größerer Länge freizulegen, so bricht man allmählich die noch übrig gebliebenen Bogenstücke und, wenn nötig, auch Stücke der Querfortsätze vorsichtig mit der Zange ab.

Wird eine Trephine zur Anlegung der ersten Öffnung benutzt, so erleichtert dies das Manipulieren mit der Zange im hohen Grade. Um die Trephine besser anlegen zu können, bricht man die Processus spinosi mit der Zange vorher ab. Soll schnell das Rückenmark auf größerer Strecke (5—6 Wirbel) bloßgelegt werden, so ist es ratsam, in jeden zweiten Bogen eine Öffnung mit der Trephine zu bohren und dann mit der Zange, deren Spitzen man in zwei benachbarte Löcher steckt, den Zwischenbogen zu erbrechen.



Fig. 5.
Schere nach Cyon.

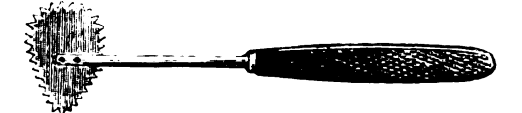


Fig. 6
Säge nach Cyon.

Zur Säge greift man vorzugsweise, wenn die Rückenmarkwurzeln mit besonderer Sorgfalt bloßgelegt werden sollen. Am besten benutzt man dabei eine Säge von der Form der auf Taf. III, Fig. 11 (s. Fig. 6) abgebildeten.

Sie wird senkrecht zur Richtung der Wirbelsäule an den Bogen aufgesetzt und zwar möglichst von den Processus spinosi entfernt und der Bogen an der betreffenden Stelle durchsägt. Dasselbe geschieht auf der andern Seite desselben Bogens. Sind Knochenbrücken stehen geblieben, so entfernt man sie durch ein paar Bewegungen mit der Spitze dieser Säge (siehe Figur). Vor der Anlegung der Säge müssen die Weichteile von den Bogen ganz sauber abgeschabt werden.

Welcher der besagten Instrumente man sich bei der Eröffnung der Wirbelsäule auch bedient, immer muß besondere Sorgfalt auf deren Instandhaltung verwendet werden. Die Zange muß ganz scharfe Schneiden besitzen, da sie sonst den Knochen zerquetscht, ohne ihn zu durchschneiden.

e) Operation bei Meerschweinchen.

Beim Meerschweinchen wird das Rückenmark eröffnet, indem man das Tier in ein Handtuch so weit einwickelt, daß nur die betreffende Stelle der Wirbelsäule unbedeckt bleibt. Während man das Tier mit der linken Hand festhält und mit dem Daumen und Zeigefinger derselben Hand die Haut spannt, wird letztere mit der rechten Hand durchschnitten. Zur Abtrennung der Muskeln von den Wirbelfortsätzen reicht der Messergriff aus. Die Wirbelbogen werden mit einer kleinen Zange von der Gestalt der auf Taf. I, Fig. 1 (siehe oben Fig. 4) abgebildeten abgebrochen.

f) Operation bei Fröschen.

Beim Frosch kann die Wirbelsäule auch ohne Befestigung desselben geöffnet werden. Schonender und leichter geschieht dies aber beim festgebundenen Frosche.

Der Hautschnitt wird in der Medianlinie gemacht (siehe den weißen Medianstrich auf Fig. 7; die Wirbelkörper erstrecken sich bis zur gestrichelten Linie), und die Hautnerven mit einer Schere durchschnitten. Sollen nur die unteren Wirbel eröffnet werden, so trennt man mit einer Schere die Muskeln, welche diese Strecke bedecken, zuerst von ihrem Ansatze an das Os sacrum und dann der Längsrichtung entlang von den Ansätzen an die transversalen Fortsätze der Wirbelkörper. Man darf bei Führung des letzten Schnittes nicht zu weit nach außen gehen, da man sonst leicht die Bauchhöhle öffnet. Man bleibt etwas nach innen von den an beiden Seiten deutlich sichtbaren Furchen. Die Muskeln werden auf der Strecke der letzten vier Wirbel abgeschnitten und darauf die Bandmasse, welche die Bogen der einzelnen Wirbel miteinander verbindet, mit einer Schere durchschnitten. Man muß sich dabei hüten, mit den Spitzen der Schere in den Wirbelkanal hineinzukommen, da man sonst die sehr oberflächlich gelegenen hinteren Wurzeln durchreißen kann.

Sind die Grenzen der einzelnen Bogen gut sichtbar, so hebt man die betreffende Partie der Wirbelsäule mit dem Daumen und dem Zeigefinger der linken Hand etwas in die Höhe und schreitet zum Abbrechen der Bogen mit einer kleinen Zange. Auch hier muß die Zange mit den Spitzen von außen nach innen gerichtet werden und die Zangenblätter möglichst horizontal, also den Wirbelbogen parallel gehalten werden. Man durchbricht

den Bogen an beiden Ansätzen und hebt ihn dann mit derselben Zange ab.

Die Eröffnung ist als gelungen zu betrachten, wenn die weißlichen Häute des Markes mit dem in der Mittellinie verlaufenden Blutgefäße, sowie die hinteren Wurzeln von den Instrumenten nicht berührt worden sind.

Sehr verfehlt ist es, die Wirbelsäule bei Fröschen mit einer kleinen Schere zu eröffnen. Im besten Falle mißhandelt man dabei die Wurzeln durch die Spitzen der Schere, welche zwischen den Bogen der Wirbel eindringen.

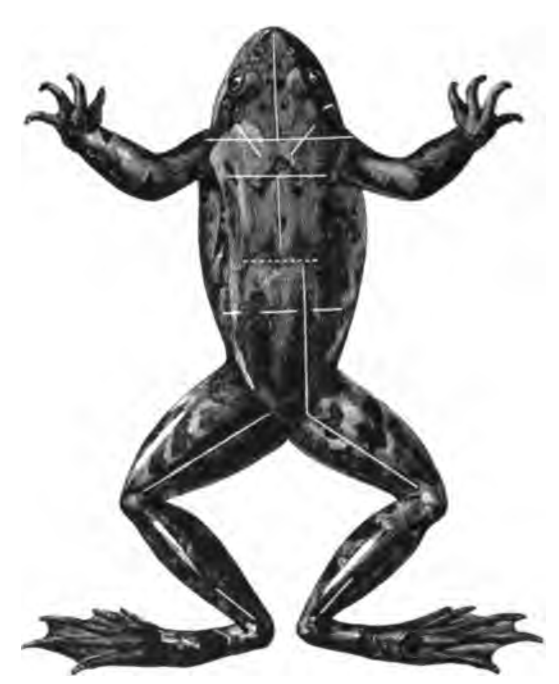


Fig. 7.
Schnittführungen beim Frosch (nach Cyon, Taf. XXI, Fig. 7.)

g) Entfernung der Rückenmarkhäute.

Die Entfernung der Rückenmarkhäute ist die zarteste und vielleicht wegen der ganz außerordentlichen Empfindlichkeit derselben die für das Tier eingreifendste Operation. Wo die besonderen Bedingungen des Versuchs es nicht durchaus erfordern, ist es daher ratsamer, von dieser Entfernung Abstand zu nehmen. Ist sie aber nicht zu umgehen, so spalte und entferne man die Häute in der schonendsten Weise. Für die Dura mater und die Arachneidea verwendet man am besten ein schmales langes Messer mit sehr scharfer Schneide, das man ohne jeden Druck in der gewünschten Lage an den Häuten vorbeizieht. Die Häute werden nach der Spaltung mit Pinzetten nach beiden Seiten gezogen. (Weniger schonend ist es, die Dura mit einer Pinzette in die Höhe zu heben und mit einer feinen Schere

zu spalten.) Während man die Dura mater am besten in der Medianlinie öffnet, fängt man die Präparation der Pia mater am liebsten an den Seiten an, da hier die Gefäße leichter zu umgehen bezw. zu torquieren sind."

B. Stillung der Blutungen.

Die Hauptschwierigkeiten bei diesen Operationen liegen in der Stillung der Blutungen aus den Gefäßen der Knochen und der Rückenmarkhäute. Die Knochenblutungen können teilweise durch Klebwachs oder auch, wie dies in der modernen Chirurgie geschieht, durch Einführung eines dicken Katgutfadens in das Knochenmark gestillt werden. „Die Blutungen aus den Gefäßen der Rückenmarkhäute müssen durch vorsichtiges Austamponieren gestillt werden. Zu beachten ist dabei, daß bei Kaninchen bei der Durchschneidung des letzten Hals- und der ersten zwei Brustwirbelbogen der Tod fast sofort eintritt. Vermutlich wird dies durch Ansaugung von Luft in den großen Intervertebralvenen veranlaßt. Die Nerven überleben aber noch einige Zeit nach dem Tod des Tiers. Der Tod kann vermieden werden durch Unterbindung der Intervertebralvenen in der Brust vor der Eröffnung des Wirbelkanals." (Langley 1892.)

Ich führe noch die Erfahrungen an, die in den Arbeiten der Ludwigschen Schule von Dittmar (1870) und Miescher (1870) und in Cyons Methodik über die Blutstillungsmittel niedergelegt sind.

1. Auszug aus Dittmar (1870, S. 22 Anm.):

„Zur Verhütung von venösen Hämorrhagien bei Eröffnung des Wirbelkanals kann ich die auch von Schiff angewandte Schiefstellung des Tierkörpers (etwa 45°, Hinterteil nach unten) sehr empfehlen. Hat man gut operiert und namentlich die Venae intervertebrales zu vermeiden gewußt, so darf das Tier bei der Eröffnung kaum einige Tropfen Blut verloren haben. Ich habe bei der Eröffnung des Wirbelkanals und den in demselben vorzunehmenden Operationen das Penghavar Djambi allen andern Blutstillungsmitteln vorgezogen. Es reizt die Markflächen nicht und läßt sich von denselben, wenn es die Blutung gestillt hat, ganz reinlich und mit der größten Leichtigkeit wieder abheben." Der Kanal wird mit Schwammstückchen ausgefüllt.

2. Auszug aus Miescher (1870, S. 405/6):

„Die Tiere, Kaninchen, waren kurarisiert und abschüssig gelagert."

„Sehr störend ist das allmähliche Sinken des Blutdrucks, das im Laufe der meisten Versuche eintrat, und denselben während der etwa halbstündigen Beobachtungszeit oft bis auf die Hälfte erniedrigte. Als eine Hauptquelle von Mißerfolgen bei Rückenmarkeingriffen ist der Blutverlust bekannt, der schon öfter bei Bloßlegung des Markes eintritt. Das Lendenmark ist hierfür noch besonders ungünstig. Das venöse Blut sammelt sich, wie wir uns durch Injektion überzeugten, in sinusartigen anastomosierenden Kanälen, die zwischen Knochen und fibröser Auskleidung des Wirbelraums verlaufen, an der Basis der Wirbelbogen. An der Grenze zwischen je zwei Wirbeln gehen dieselben in weite, sehr dünnwandige Blutsäcke über, die sich von der Seite her über das Mark lagern an der Stelle, wo die Nervenwurzeln

entspringen. Es ist unmöglich, die knöcherne Hülle an diesen Stellen zu entfernen, ohne diese venösen Räume zu eröffnen. Auch die Substanz des Knochens selbst, namentlich die der hinteren Lendenwirbel, blutet zuweilen stark. Es gelingt zwar in der Regel, mittels eingestopfter Schwämmchen oder Penghavar selbst heftiger Blutungen schließlich Herr zu werden, aber oft erst nachdem Blutdruck und Herzaktion in einer Weise gesunken sind, die den Erfolg des Versuches sehr problematisch macht. Mit einiger Sicherheit ließen sich erhebliche Blutverluste bei folgendem Operationsverfahren vermeiden: Im Bereich eines der oberen Lendenwirbel wurde die interspinale Muskulatur nebst dem Periost mit einem halbscharfen Schabinstrumente abgelöst und die Musculi lumbodorsales mit Haken etwas von der Wirbelsäule abgezogen. Dann wurde zwischen zwei Dornfortsätzen ein Stück Wirbelbogen mit einer schneidenden Zange entfernt, bis in einer Ausdehnung von 5—8 mm das Mark in seiner ganzen Breite vorlag; die intervertebralen Blutsäcke waren so vermieden. Will man in der Nähe der Nervenursprünge operieren, so muß man es eben auf die Blutung und deren Bekämpfung ankommen lassen.“ Vgl. im übrigen Bd. III, 4 S. 20.

3. Auszug aus Cyon Methodik, S. 517.

Die Schwierigkeiten der Wirbelsäuleneröffnungen steigern sich beträchtlich, wenn sie zum Zwecke vorgenommen werden, um an den Rückenmarkwurzeln zu operieren. Die dabei erforderliche Abtragung der Bogenansätze an die Wirbelkörper, oft samt den Dornfortsätzen, ist meistens mit Blutungen verbunden. Die venösen Sinus liegen nämlich unmittelbar diesen Stellen an. Die Bloßlegung der Hinterfläche des Rückenmarks kann dagegen fast ohne jede Blutung geschehen. Zur Stillung des Blutes bedient man sich entweder des Pengavar Djambi oder langer schmaler Schwammstreifen, die man in die Seitenfurchen des Wirbelkanals einlegt. Sehr vorteilhaft ist es, vorher die Schwämme in etwas Eisenchlorid zu tauchen und zu trocknen. Auch die von Dittmar empfohlenen, in Eisenchlorid getränkten und getrockneten Papierpartikelchen sind von Nutzen, besonders bei Knochenblutungen.

Vermindert werden diese Blutungen erstens durch die geeignete Lagerung der Tiere und zwar mit stark nach vorn gebeugtem Vorderkörper (Schiff) und zweitens durch die Unterhaltung einer ausgiebigen Atmung. In allen Fällen daher, wo die Eröffnung der Trachea mit den sonstigen Bedingungen des Versuches verträglich ist, erleichtert man sich die Operation beträchtlich durch Einleitung der künstlichen Atmung.

Starke Blutungen sind nicht nur darum schädlich, weil sie das Operieren beträchtlich erschweren, sondern weil die Tiere durch dieselben bis zu einem Grade erschöpft werden, daß sie nur noch schwach auf weitere Eingriffe zu reagieren vermögen. Eine seltenere Störung starker Blutungen besteht darin, daß, wenn nicht für eine Entfernung des Blutes nach außen gesorgt wird, dasselbe sich in den uneröffneten tiefer gelagerten Abschnitten des Wirbelkanals anhäuft und daselbst durch Kompression des Marks vollständige Lähmungen erzeugt.

Man beachte daher bei Eröffnung des Wirbelkanals immer die Regel, sobald nur eine stärkere Blutung sich aus einer kleiner gemachten Öffnung zeigt, sofort diese Öffnung zu erweitern. Dadurch wird nicht nur dem

Blute ein Ausweg nach außen geschaffen, sondern auch die Stillung der Blutung erleichtert. Zu dieser Stillung trägt auch der Umstand bei, daß die Sinus bei größeren Öffnungen der Wirbelsäule leichter zusammenfallen.

Ist die Eröffnung der Wirbelsäule mit einer großen Blutung verbunden gewesen, so muß man nach der Bloßlegung des Marks die Wunde schließen und dem Tiere erst einige Erholungszeit gönnen, ehe zum weiteren Experimentieren geschritten wird. Wo es nur irgend mit den sonstigen Bedingungen des Versuchs verträglich ist, muß das Tier bei solchen Operationen mit Chloroform oder Chloral narkotisiert werden. Die heftigen Schmerzen erschöpfen das Tier oft mehr, als stattgehabte Blutung. Die nach der Eröffnung der Wirbelsäule dem Tiere gegönnte Erholungsfrist gewährt gleichzeitig die nötige Zeit, um die Wirkung der Narkotisation vorübergehen zu lassen.

C. Freilegung des verlängerten Markes.

Verfahren von Owsjannikow (1871):

„Ich verließ diese Operationsweise (die Eckhardsche) vollkommen und ersetzte dieselbe durch die Anlegung einer Reihe von sehr kleinen Trepanöffnungen, die ich paarweise neben der Mittellinie vom hinteren Ende der Scheitelbeine und durch die Länge des Hinterhauptbeines hindurch unmittelbar hintereinander anlegte. Durch je eine solche Öffnung führte ich ein sehr feines Messer ein und stach mit ihm in der Richtung von der Mittellinie zur Seite schneidend in das verlängerte Mark ein. Hierdurch war es nun, trotzdem daß die Durchschneidung im Dunkeln vor sich ging, erreichbar, den Einstich bis auf 1 mm genau an dem gewünschten Orte anzubringen. Es leuchtet ein, daß ich mit diesem Verfahren nur imstande war, die Ausdehnung zu ermitteln, welche die tonisch oder reflektorisch erregenden Orte in der Richtung von oben nach unten hin einnehmen."

Eine weitere bemerkenswerte Beschreibung dieser Operation ist von Fuchs (1897, S. 120) gegeben worden (siehe auch unten E):

„Bloßlegung der Vagus-Accessorius-Glossopharyngeuswurzeln.

Das Tier — ich arbeitete ausschließlich an Kaninchen, da man nur bei diesem Tiere sicher ist, jedesmal einen auch schon anatomisch wohl charakterisierten Depressor zu finden — wird durch subkutane Ätherinjektionen tief narkotisiert und sodann in Bauchlage mittels des Czermakschen Kaninchenhalters aufgebunden. Der Kopf des Tieres wird so stark nach abwärts gebogen, daß die Protuberantia occipitalis externa ungefähr den höchsten Punkt des Kopfes bildet; nach blutiger Spaltung der Haut in der Medianlinie des Kopfes werden die langen Nackenmuskeln beiderseits doppelt unterbunden und zwischen den Ligaturen durchtrennt, event. wird auch ein Stück aus demselben exzidiert. Durch schichtweises Präparieren dringt man so bis zur Membrana obturatoria vor, die nun in ganzer Ausdehnung freigelegt wird. Nachdem dies geschehen ist, wird jede Blutung, auch die kleinste parenchymatöse, sorgfältig gestillt und erst dann die Membrana obturatoria in der Medianlinie mit einem Beerschen Starmesser zugleich mit

den Meningen eingeschnitten und hierauf mit Schere und Pinzette exzidiert. Ich habe es zweckmäßig gefunden, die lateralen Partien derselben nicht vollständig bis zum Knochenrande zu entfernen, da man sonst oft schwere venöse Blutungen bekommt, die den weiteren Fortgang des Versuchs völlig vereiteln; der schmale Lappen, welcher beiderseits stehen bleibt, kann, wenn man das Wurzelgebiet erreichen will, jederzeit mit der Pinzette leicht abgehoben werden. Es muß dann in der Regel noch ein Teil des Hinterhauptbeines, soweit er oben der Membrana obturatoria als Ursprung dient, mit der Knochenzange entfernt werden; in einzelnen, besonders günstigen Fällen ging es jedoch ganz ohne Abtragung des Knochens. Nachdem man sich überzeugt hat, daß das Wurzelgebiet der einen Seite oder beider Seiten völlig freiliegt und sich keine Spur von Blut zwischen den feinen Fäden, welche das Wurzelgebiet repräsentieren, befindet, wird die Lücke provisorisch durch einen Wattetampon geschlossen und die Hautwunde durch Klemmpinzetten über demselben vereinigt. Das Tier wird jetzt in die Rückenlage gebracht, in derselben neuerdings fixiert, und nun werden am Halse beide Nervi depressores freigelegt und in eine vorläufig nicht festgeknüpfte Fadenschlinge gefaßt. Hierauf wird die eine Karotis — es war durchweg die rechte — mit einer Kanüle armiert und mit dem Manometer in Verbindung gesetzt. Zur Blutdruckschreibung bediente ich mich ausschließlich des von Basch in jüngster Zeit angegebenen Federmanometers, dessen Leistungen, was Empfindlichkeit und leichte Handhabung betrifft, in der Tat nichts zu wünschen übrig lassen."

D. Durchschneidung und Reizung des Rückenmarks.

Cyon, Methodik (S. 524):

„Es ist sehr schwierig, beliebig ausgedehnte Durchschneidungen des Rückenmarks mit freier Hand vornehmen zu können. Deshalb ist es gewiß als großer methodischer Fortschritt zu betrachten, wenn es Ludwig gelungen ist, mit Hilfe einiger Vorrichtungen die Genauigkeit dieser Durchschneidungen ganz unabhängig von der individuellen Übung des Experimentators zu machen. Diese Vorrichtungen, welche im Leipziger Laboratorium von Miescher (1870), Dittmar (1870 und 1873) und Woroschiloff (1874) mehrfache Anwendung gefunden haben, bezwecken sowohl die Führung des Messers viel sicherer zu machen, um damit besonders Verletzungen benachbarter Markteile zu vermeiden, als auch die Wirbelsäule so unbeweglich zu fixieren, daß ungewünschte Verschiebungen des Messers unmöglich vorkommen können (s. Bd. III, 4 S. 37).

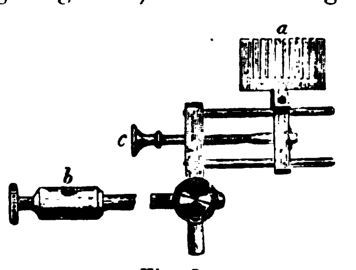


Fig. 8. Vorrichtung zur genauen Ausführung von Querschnitten nach Dittmar-Cyon.


Fig. 9. Messerchen zu Fig. 8.

Der erste dieser beiden Zwecke wird durch eine Vorrichtung erreicht, welche auf Taf. III, Fig. 5 u. 6 (siehe Figur 8) abgebildet ist. Sie besteht aus dem metallischen Prisma a, welches durch die feine Schraube c in beliebiger

Richtung parallel mit sich selbst verschoben werden kann. Mit Hilfe des Armes b wird das Prisma auf einem Stabe des Kaninchenhalters unbeweglich fixiert.

Dieses Prisma hat eine oder mehrere in gewünschter Entfernung voneinander befindliche Spalten, in welche feine Messerchen von der Form des in Fig. 9 abgebildeten passen.

Das Prisma wird über das zu operierende Markstück mit den Spalten parallel seiner Längs- oder der Breitenausdehnung gestellt und die Messerchen durch dieselbe in das Rückenmark gesenkt. Im ersten Fall wird das Mark von den Messerchen in der Längsrichtung getrennt, im letzteren in der Querrichtung. Da man dieses Prisma beliebig verschieben und außerdem auch die Zahl der Spalten je nach dem Versuchszweck ändern kann, so hat man die Möglichkeit, mit großer Genauigkeit das Mark in gewünschten Abständen und in beliebiger Ausdehnung zu durchtrennen.

Soll das Rückenmark nur in einer Stelle durchtrennt werden, und sollen die Nachbarteile vor Quetschungen, Extravasaten usw. geschützt werden, so benutzt man die erwähnten kleinen Messerchen als Schutzmesserchen. Sie werden mit sagittal gerichteter Schneide durch das Mark hindurch bis an die Wirbelsäule eingestochen und bieten so eine Schutzgrenze, welche das schnittführende Messer nicht überschreiten kann. Miescher überzeugte sich, daß die Einführung eines solchen Schutzmesserchens in der Richtung der Längsfasern keinen Einfluß auf die Leitung in den betreffenden Stellen ausübt. Will man Querschnitte in genau begrenzter Ausdehnung an zwei Stellen derselben Wirbelhöhe anlegen, z. B. die beiden Seitenstränge auf einer bestimmten Rückenmarkshöhe durchtrennen, so stößt man zwei in besonderen miteinander verbundenen Haltern steckende Schutzmesser in das Mark ein und führt die Schnitte nach beiden Seiten von diesen Messern. Die zwischen ihnen abgegrenzte Rückenmarkspartie wird dann vollständig geschont. Sind die Halter für die Schutzmesserchen durch eine Schraube in beliebiger Entfernung voneinander einstellbar, so kann man die zu erhaltende Rückenmarkspartie beliebig breit wählen.

Um die Ausdehnung der Durchtrennung durch die Sektion genau feststellen zu können, muß das betreffende Stück Wirbelsäule nebst Mark und dem darin steckenden Schutzmesserchen in Alkohol gelegt werden, um das gehärtete Mark mit Hilfe des Mikroskops untersuchen zu können.

Die mit Hilfe dieser Vorrichtungen ausgeführten Durchtrennungen gewinnen einen noch höheren Genauigkeitsgrad, wenn man sich dabei noch der weiteren Einrichtung bedient, welche Ludwig zur Fixierung der Wirbelsäule angegeben hat (s. Fig. 10).

Die zangenförmige Einrichtung ist auf Taf. XL, Fig. 1 abgebildet. Die Zangen k und l, denen man je nach dem Orte der Wirbelsäule, wo sie angelegt werden sollen, verschiedene Form geben muß, besitzen zwei nach unten gebogene Arme p, p, die bei m durch ein Scharnier miteinander verbunden sind. Durch die Schrauben n, n werden die den Knochen umgreifenden Enden der Zange fixiert. Diese Enden sind so gestaltet, daß sie gerade in je eine Vertiefung eingreifen, welche unterhalb des schiefen Fortsatzes sich befindet.

Die prismatischen Stäbe g und h, an welche die Zangen befestigt sind, passen in die beiden, ebenfalls prismatisch gestalteten Bohrlöcher der Hülse d c, welche senkrecht an eine zweite Hülse aus Messing b festgelötet ist. Diese letztere Hülse läßt sich in der gewöhnlichen Weise mit einer Schraube auf beliebiger Höhe des Stabes a fixieren. Die Schrauben d und f dienen

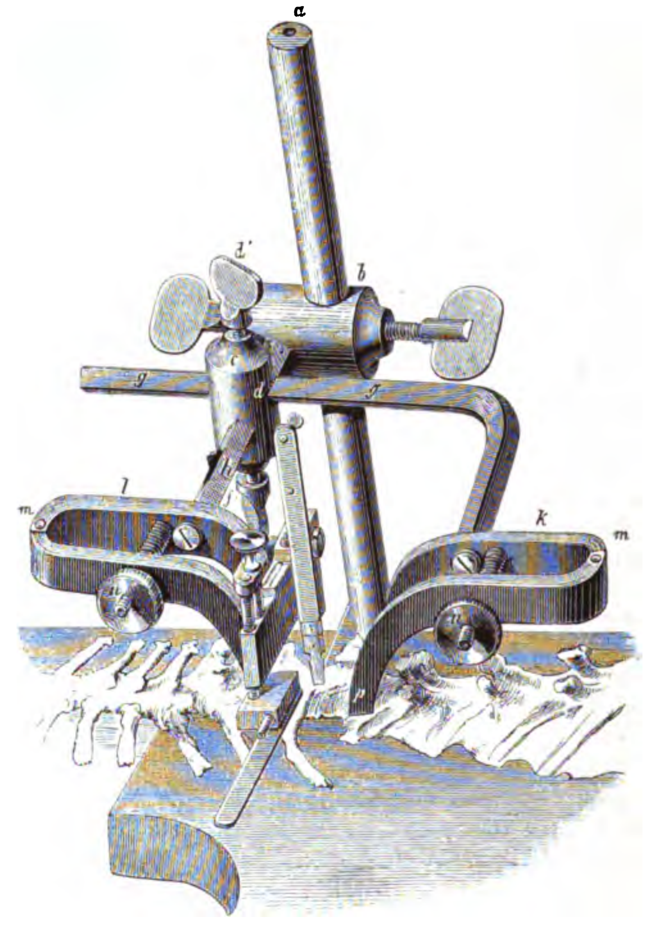


Fig. 10.
Vorrichtung zur Fixierung der Wirbelsäule nach Ludwig (vgl. Bd. III, 4, S. 15).

dazu, die prismatischen Stäbe g und b in den Löchern der Hülse c d zu sichern.

Die übrigen in der Figur sichtbaren Teile gehören den soeben beschriebenen Einrichtungen zur Befestigung der Schutzmesser an. Sie gestatten auch die Einführung von bajonettartig gestalteten Messerchen für die Fälle, wo horizontale Schnitte durch das Rückenmark geführt werden sollen. Um die Wirbelknochen an den Seiten nicht zu weit abtragen zu müssen, sind den Schutzmesserchen für diese Schnitte zwei knieartige

Biegungen gegeben, die ihnen die Form eines Bajonettes verleihen. Durch die auf der Zeichnung sichtbare Schraubenvorrichtung lassen sich auch diese Schutzmesserchen in beliebiger Höhe einstellen.

Die Durchschneidungen des Rückenmarks und der Medulla oblongata erlangen dank diesen Vorrichtungen einen hohen Grad von Sicherheit; und wenn auch mit ihrer Hilfe sich nicht ganz genau die Ausdehnung der zu setzenden Verletzung vorausbestimmen läßt, so kann man wenigstens bei ihrer Benutzung sicher die Grenzen bei der Durchtrennung nicht überschreiten, welche durch die Schutzmesserchen gesetzt wurden."

Derartige Vorrichtungen für die Befestigung der Wirbelsäule sind auch von Sirotinin (1887) angegeben.

Zur Reizung beschränkter Teile der Medulla oblongata oder des Rückenmarks sind fast immer die gleichen Vorrichtungen, nämlich Nadelelektroden, angewandt worden. Als Beispiel für diese Methode, die einer weiteren Beschreibung nicht bedarf, führe ich die Angabe von Heidenhain (1872, S. 144) an, daß er zur Reizung der Medulla oblongata eine Nadelelektrode durch ein Löchelchen im Hinterhauptsbein an der oberen Grenze, die andere durch die Membrana atlanto-occipitalis eingeführt habe.

Ferner ist von Interesse das Verfahren von Slavjansky (1873, S. 666): „Armierung des Halsmarkes. Die bisher zum Versuche ausgewählten Tiere waren kleine und womöglich junge Hunde oder erwachsene Kaninchen; sie wurden kurarisiert und durch künstliche Respiration am Leben erhalten. An ihnen wurde nach sorgfältiger Lostrennung der entsprechenden Muskeln, wobei jede Blutung ängstlich vermieden wurde, der Bogen des zweiten Halswirbels bloßgelegt und darauf dieser mittels des Trepans beiderseits von der Mittellinie durchbohrt; unter Beihilfe der Knochenzange wurde die Brücke zwischen den beiden Trepanlöchern weggebrochen, so daß die Dura mater zutage kam. Alsdann wurde diese, und darauf auch das Rückenmark auf einer gebogenen Sonde durchschnitten. In den Sack der harten Hirnhaut wurden alsbald zwei Elektroden eingeschoben, und zwar so, daß die eine derselben um einige Millimeter tiefer als die andere hinabreichte. Diese Elektroden selbst bestanden aus Platindrähten, welche bis auf ihre in dem Wirbelkanal befindliche äußerste Spitze durch überfirnißte Seidenfäden sorgfältig isoliert waren. In der ihnen gegebenen Lage wurden sie durch ein Korkstück festgehalten, welches zwischen beide in die Knochenwunde eingeklemmt wurde. Dieses letztere selbst ward an seiner Stelle noch durch einen Faden fixiert, der beiderseits zwischen den Nackenmuskeln durchgezogen und zugeschnürt war." (Vgl. im übrigen Bd. III, 4 S. 107.)

E. Operationen an den Zentren der Herznerven.

Die Zentren der hemmenden und beschleunigenden Herznerven werden in die Medulla oblongata verlegt. Soweit die Technik der Operation an diesem Gehirnteil ein besonderes Interesse bietet, ist sie oben behandelt (nach Owsjannikow, 1871 und Fuchs, 1897). Man hat besondere Versuche angestellt, um die Lage des Vaguszentrums in dieser Gegend noch etwas näher festzustellen. Laborde (1888) hat eine bestimmte Stelle in dem seitlichen Teil des Bodens des vierten Ventrikels durch elektrische Reizung mit



einer Nadel als das eigentliche Herzhemmungszentrum erkannt. Sie stimmt mit der Lage des Nucleus ambiguus überein. Die Angabe ist jedoch von Kohnstamm (1901) bestritten worden. Inwieweit der Accessorius an der Herzhemmung beteiligt ist, ist von Fuchs (1897, Operationsweise siehe oben) und Schaternikoff und Friedenthal (1902) näher untersucht worden.

Ein distinktes Zentrum der beschleunigenden Herznerven ist bis jetzt noch nicht aufgefunden worden. Die Versuche von Bezold (1863), ferner von Ludwig und Thiry (1864) und der Gebrüder M. und E. Cyon (1866) hatten ergeben, daß eine Reizung des Halsmarks zu einer Beschleunigung des Herzschlags führt (siehe hierüber Tigerstedt, Lehrbuch des Kreislaufs, S. 260/61, 289).

Die Versuche über die Reizung der Medulla oblongata durch Anämisierung oder durch Veränderung des Blutdrucks oder durch Erhöhung der Temperatur, oder durch Erstickung bieten kein besonderes technisches Interesse. Die Literatur findet sich in Nagels Handbuch, I, S. 277, 78. (Innervation des Herzens und der Blutgefäße von F. B. Hofmann.)

F. Operationen an den vasomotorischen Zentren.

Die Untersuchungen des Ludwigschen Laboratoriums über die Lage der vasomotorischen Zentren zählen zu den ersten (abgesehen von Schiff, s. Tigerstedt, Lehrbuch, S. 531) und jedenfalls genauesten dieser Art. Sie beginnen mit der Arbeit von Dittmar (1870), und wurden fortgesetzt von Miescher (1871), Dittmar (1873) und Woroschiloff (1874). Zu diesen Untersuchungen wurden einige fein ausgedachte Hilfsmittel verwendet, die oben S. 348—350 beschrieben wurden. Sie sollten dazu dienen, mit möglichster Exaktheit die Lage der Zentren durch Durchschneidung und Reizung festzustellen.

Im übrigen gehört die Beschreibung dieser Methoden in einen anderen Teil dieses Handbuchs. Vor allem gilt dies von den Beziehungen der Gehirnrinde usw. zu der Gefäßkontraktion (siehe hierüber Nagel I, S. 315).

Die Untersuchungen über den Einfluß der Ernährung, Erstickung, Temperatur usw. auf die Zentren haben keine spezielle methodische Bedeutung.

Von Goltz (1874) wurden die Untersuchungen über die Lage niederer oder peripherer Gefäßzentren begonnen (u. a. fortgesetzt von Goltz und Ewald [1896], s. auch Magnus [1906]. Vergl. S. 365). Über sie existiert eine ziemlich ausgedehnte Literatur. Die in diesen Arbeiten angewandte Methodik kann hier nicht behandelt werden.

Bezold 1863. Untersuchungen über die Innervation des Herzens, II, S. 191.
Cyon, M., und E., 1866. Zentralbl. f. d. med. Wiss.
Dittmar 1870. Ein neuer Beweis für die Reizbarkeit der zentripetalen Fasern des Rückenmarks. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss., 1870, S. 18.
Dittmar 1873. Über die Lage des sogen. Gefäßzentrums in der Medulla oblongata. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., 1873, S. 449.
Fuchs 1897. Beiträge zur Physiologie des Nervus depressor. I. Abhandlg. Die zentralen Wurzelfasern des Nervus depressor. (Physiol. Institut Wien.) Pflügers Arch., LXVII, S. 117.
Goltz 1874. Über gefäßerweiternde Nerven. Pflügers Arch., IX, S. 174.
Goltz und Ewald 1896. Pflügers Arch., 63, S. 389.

Heidenhain 1872. Über arhythmische Herztätigkeit. Pflügers Arch., V, S. 143.
Kohnstamm 1901. Neurol. Zentralbl., 20, S. 770.
Laborde 1888. Du noyau d'origine, dans le bulbe rachidien, des fibres motrices ou cardiaques du nerf pneumogastrique, ou noyau cardiaque etc. Arch. d. physiol. norm. et pathol., I, p. 397.
Langley 1892. On the origin from the spinal cord of the cervical and upper thoracic sympathetic fibres. Philos. transact., 183B; p. 85.
Ludwig und Thiry 1864. Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wiss., 49, II, S. 429.
Magnus 1906. Über peripheren Gefäßtonus im Splanchnicusgebiet. Pflügers Arch., Bd. 115, S. 331.
Miescher 1870. Zur Frage der sensiblen Leitung im Rückenmark. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., S. 404.
Owsjannikow 1871. Die tonischen und die reflektorischen Zentren der Gefäßnerven. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., S. 135.
Schaternikoff und Friedenthal 1902. Über den Ursprung und den Verlauf der herzhemmenden Fasern. (Physiol. Institut Berlin.) Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 53.
Sirotinin 1887. Die punktförmig begrenzte Reizung des Froschrückenmarkes. Du Bois-Reymonds Arch., S. 155.
Woroschiloff 1874. Der Verlauf der motorischen und sensiblen Bahnen durch das Lendenmark des Kaninchens. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., S. 248.

Kapitel 67.

Die Reizung der Herznerven.

A. Reizung des Vagus.

Die Aufsuchung und Reizung der Vagusfasern bietet im allgemeinen keine technischen Schwierigkeiten, wenigstens wenn es sich um den Vagusstamm handelt. Eine Beschreibung der Anatomie des Halsvagus und Sympathikus findet sich bei Aubert und Röver (1868), derjenigen des Frosches in der „Anatomie des Frosches" von Ecker-Gaupp. Vergl. S. 356 Gaskell.

Von technisch Bemerkenswertem scheint mir hier nur in Betracht zu kommen die Methode von Muskens (1898), der die Vagi des Frosches durch Elektroden gereizt hat, die in die Tubenöffnungen der Mundhöhle gebracht wurden.

Hunt (1897) macht darauf aufmerksam, daß, wenn man den Vagus durch eine langsame Folge von Induktionsschlägen reizt, die Verlangsamung des Herzschlags allmählich größer wird, und kein Versagen wie sonst nach längerer Reizung eintritt. Dies besonders, wenn die Akzeleratoren durchschnitten sind.

Daß man die Nerven, so auch den Vagus, am isolierten Säugetierherzen noch reizen kann, hat besonders Hering erkannt und zu vielfachen Untersuchungen benutzt (siehe Hering 1903 und Kap. 24).

B. Operationen an den Nervi accelerantes.

a) Die allgemeinen anatomischen Verhältnisse.

Die beschleunigenden Nervenfasern gehören dem autonomen Nervensystem an, ebenso wie die hemmenden. Die präzellulären Bahnen verlaufen

nach Stricker und Wagner (1878, S. 363 ff.) und Langley (1892) in den fünf ersten thorakalen Rami communicantes.

Über den Inhalt der Langleyschen Arbeit referiere ich folgendermaßen:

Zuweilen tritt bei der Katze kein Erfolg ein, vermutlich weil bei diesen Tieren akzelerierende Impulse überhaupt nicht wirken. Ebenso wie Böhm und Nussbaum, Stricker und Wagner hat L. beobachtet, daß die Nerven auf der linken Seite weniger ansprechen als auf der rechten.

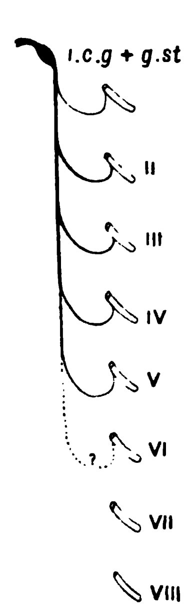


Fig. 11.
Anteil der Rami communicantes an dem „Accelerans“ nach Langley. Die Dicke der Striche deutet die Größe des Anteils an.

Ergebnisse: 1. Die unteren Zervikalnerven enthalten keine accelerantes. 2. Der Hauptnerv ist bei den meisten Tieren der zweite, bei anderen der dritte Brustnerv. 3. Ein Erfolg ist bei dem ersten und vierten manchmal beträchtlich, manchmal kaum nachzuweisen. 4. Der fünfte Brustnerv enthält kaum accelerantes. Der sechste ist ganz unsicher. Bemerkenswert, daß der Ursprung der accelerantes ungefähr dasselbe ist wie für die Vasomotoren des Kopfes. S. 111. Ein Versuch, bei dem Hund die Neuronzellen durch Anwendung von Nikotin zu bestimmen, glückt nicht ganz. Scheinbar ist jedoch entschieden, daß einige accelerantes mit Zellen in dem Ganglion stellatum, andere mit dem unteren Halsganglion verbunden sind.

Nach v. Bezold und Bever (1867) soll auch der Nervus vertebralis beschleunigende Fasern enthalten. Dann würden auch die fünften, sechsten und siebenten Halsnerven präganglionäre Fasern, deren Reizung eine beschleunigende Wirkung hat, durch ihre Rami communicantes aussenden. Der Ramus communicans des achten Halsnervs verbindet sich direkt mit dem ersten Brustganglion. Die alte Angabe von Schiff, daß der Vagus beschleunigende Fasern führt, ist durch einige neuere Untersuchungen von Rutherford (1869), Böhm (1875) zum Teil bestätigt worden. (Schmiedeberg, 1871, S. 151, konnte solche Bahnen nicht auffinden.) Beim Warmblüter verlaufen sicher jedoch die hauptsächlichen beschleunigenden Fasern in den Bahnen, die zu dem ersten Brustganglion führen. Der Hauptteil der Akzeleratoren endigt in dem ganglion stellatum (thor. prim.), ein kleinerer Teil vielleicht in dem ganglion cervicale infimum. Die postzellulären Fasern verlaufen wohl in der Hauptsache in den beiden Ästen der ansa Vieussenii zum ganglion cervicale infimum und durchsetzen dieses ohne Umschaltung. Ein kleiner Teil der postzellulären Bahn scheint direkt vom ganglion stellatum zum Herzen zu ziehen (siehe Cyon, Methodik, S. 173). Andere Fasern zweigen noch von der ansa Vieussenii oder vom ganglion cervicale infimum, in dem zum Teil die Neuronzellen für sie liegen, nach dem Herzen ab.

Schmiedeberg (1870, S. 152) gibt an, daß einmal im Rekurrens die Beschleunigungsfasern verlaufen seien.

Hering (1905) schreibt über diese Verhältnisse folgendes:



„Bever bezeichnet, wie Ludwig und Thiry, das ganglion cervicale inferius als ganglion stellatum, während Cyon dieselbe Bezeichnung für das erste Brustganglion hat. Letzterer gibt in seiner Methodik der physiologischen Experimente folgendes an (S. 173):

‚Die vom ganglion cervicale infimum zum Herzen sich begebenden Zweige sind die Nn. accelerantes (M. und E. Cyon). Außer diesen Nervenzweigen hat Bezold auch einen feinen Zweig beschrieben, welcher von den Zervikalnerven zum ganglion stellatum (auf der linken Seite zum ganglion cervicale infimum?) sich begibt, der arteria vertebralis entlang läuft und ebenfalls beschleunigende Herzfasern führen soll; Bezold nannte diesen Zweig R. vertebralis. Es ist mir einmal bei einem Kaninchen gelungen, einen N. accelerans auch in einem feinen Zweig zu finden, der sich vom ganglion stellatum zum Herzen begibt.‘

Ich halte mich an die Bezeichnung, die Krause gibt, und unterscheide ein ganglion cervicale superius, inferius, thoracicum I, II usw.

Die Größe der Ganglien differiert fast immer auf den beiden Seiten; auch ist die Entfernung zwischen dem untern Zervikalganglion und dem ersten Brustganglion bald kleiner, bald größer.“

Aus der Abhandlung von Schmiedeberg (1871, S. 148—150) entnehme ich noch folgende Schilderung der anatomischen Verhältnisse der rechten Seite des Hundes.

„Das Ganglion (ganglion cervicale inferius) ist die untere Grenze des gemeinschaftlichen Stammes des Vagus und Sympathikus und liegt wenig höher als der mittlere Teil der ersten Rippe zur Seite der Trachea, teilweise von der carotis communis bedeckt, je nach der Größe des Tieres 1—2 cm oberhalb der arteria subclavia. Außer aus dem Vagosympathikus erhält es aus dem ersten Brustganglion zu stärkeren Stämmen vereinigte Fasern.

Das erste Brustganglion, ganglion thoracicum primum oder stellatum (Fig. III, 8), welches von einer dünnen Bindegewebshülle bedeckt auf dem Musculus longus colli liegt, nach außen begrenzt von dem ersten Zwischenrippenraum, ist der Ausgangspunkt für den Brustgrenzstrang und erhält aus den unteren Halsnerven zwei Rückenmarksmuskeln, von welchen die kürzere anfangs mit der arteria vertebralis verläuft und daher als nervus vertebralis bezeichnet werden kann (Fig. III, 4).

Das erste Brustganglion gibt meist zwei Verbindungsnerven zum untersten Halsknoten.

Der erstere, obere, gewöhnlich stärkere Verbindungszweig begibt sich in gerader Richtung nach innen und oben dicht hinter dem Anfangsteil der arteria vertebralis hinweg zum ganglion cervicale inferius.

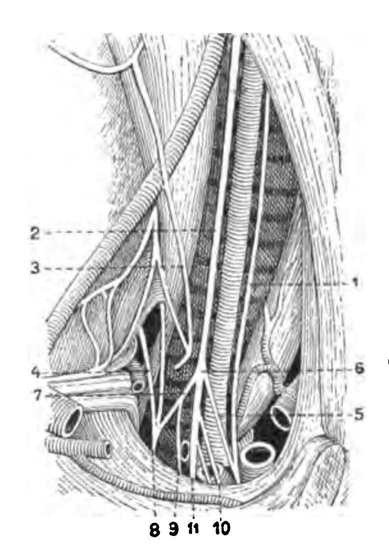


Fig. 12.
Herznerven des Hundes nach Schmiedeberg. 1. 5. N. recurrens. 2. N. vagosympathicus. 3. N. phrenicus. 4. N. vertebralis. 6. Ggl. cerv. infer. 7. N. sympath. colli. 8. Ggl. thor. prim. 9. R. cardiac sup. 10. R. cardiac inf. 2. 11. Vagus.

Der zweite, untere Zweig geht auf dem musculus longus colli liegend nach innen zur vorderen Fläche der arteria subclavia und von hier zur Seite des Vagus, des absteigenden Teils des Rekurrens und eines der Herzäste zum ganglion cervicale inferius. In manchen Fällen verbindet sich dieser Nerv, statt zum ganglion cervicale inferius zu gehen, unterhalb des letzteren mit dem Vagusstamm (Vers. IV u. VI).

Von dem unteren Halsknoten setzt sich der Stamm des Vagus weiter fort und gibt in seinem Verlauf zahlreiche Äste ab. Aus dem Ganglion selbst oder in dessen unmittelbarer Nähe entspringen im allgemeinen die folgenden drei Nerven:

Der erste Herznerv, ramus cardiacus superior oder primus entspringt entweder aus dem Ganglion selbst, oder, wie in der Abbildung (Fig. 9), aus dem oberen Verbindungszweig beider Ganglien oder gleich unterhalb des letzten Halsknotens aus dem Stamm des Vagus und begibt sich mit dem letzteren und dem absteigenden Teil des Rekurrens zur vorderen Fläche der Subklavia, um von hier zur Seite des truncus anonymus zum Herzen zu gelangen. Der nervus recurrens geht entweder vom unteren Ende des ganglion cervicale inferius oder nahe an demselben vom Stamm des Vagus ab, verläuft mit letzterem, nach außen vom Anfangsteil der arteria carotis communis, zur vorderen Fläche der Subklavia, von wo er, sich um letztere schlingend, seinen Weg nach aufwärts beginnt. Aus der Umbiegungsstelle entspringen ein oder mehrere Äste, die sich in ihrem weiteren Verlauf mit Zweigen, die aus dem Vagusstamm unterhalb des Ganglions kommen, geflechtartig verbinden. Der aufsteigende Teil des Rekurrens ist in der Höhe des untersten Halsganglion mit letzterem durch einen ziemlich starken Zweig verbunden."

S. 155: „Von dem ganglion cervicale inferius gehen die Hemmungs- und Beschleunigungsfasern in verschiedenen Bahnen zum Herzen. Der größte Teil der Fasern letzterer Art kann direkt vom Ganglion als selbständiger Nerv sich zum Herzen begeben, wie im zweiten Versuch, in welchem die periphere Reizung des ramus cardiacus superior eine Beschleunigung von 23 % hervorruft, die des Rekurrens nur eine von 9 %, der Vagusstamm unterhalb des Ganglion dagegen eine Verlangsamung ergibt, ohne nachfolgende Beschleunigung, wie sie einzutreten pflegt, wenn im Nerven neben den verlangsamenden auch beschleunigende Fasern enthalten sind. In einem andern Falle führt der cardiacus superior nur Hemmungsfasern (Vers. IV, D), während die Beschleunigungsfasern neben den Hemmungsfasern im ramus cardiacus inferior (IV E) und im Stamm des Vagus (IV F) sich finden. Dagegen lassen sich im Versuch die Akzeleransfasern nur im Rekurrens nachweisen, dessen periphere Reizung einen Pulszuwachs von mehr als 32 % ergibt, während die gleich unterhalb desselben entspringenden Zweige (I, E) und die Fortsetzung des Vagusstammes nur eine Verlangsamung bedingen."

Bei Kaltblütern gehören die beschleunigenden Nerven ebenfalls dem sympathischen System an. Nach den Untersuchungen von Gadow und Gaskell (1885, vgl. auch Mills 1887) gehen die beschleunigenden Herznerven von einem sympathischen Ganglion (Gangl. IV, s. Ecker-Gaupp, Anat. des Frosches, S. 215, 219, 227) aus, das etwa im oberen Teil der Brustregion liegt, aber nicht mit dem ersten Brustganglion, dem ganglion stellatum der Warmblüter identifiziert werden darf. Von ihm aus ziehen die

postzellulären Fasern zu dem Vagus und vermischen sich hoch oben schon mit den Vagusfasern. Reizt man also die gemischten Nerven, der als Vagus (Vagoaccelerator, Gaskell, Schäfers Textbook, II, S. 204) bezeichnet wird, bei diesen Tieren unterhalb der Vereinigungsstelle, so bekommt man immer eine kombinierte Wirkung. Eine reine Vaguswirkung kann man nur erhalten, wenn man das kurze Stück des Nerven vom Austritt aus dem Gehirn bis zu dieser Vereinigungsstelle reizt.

Abgesehen von Heidenhain (1882) ist besonders von Gaskell (zusammenfassender Bericht über seine Untersuchungen, Schäfers Textbook, Bd. II, S. 199, siehe auch S. 204) auf diese Beziehungen aufmerksam gemacht worden. Eine rein akzelerierende Wirkung erhält man bei diesen Tieren nur, wenn der äußerst kurze ramus communicans, der zu dem erwähnten Ganglion führt, gereizt wird.

b) Auffindung der accelerantes.

Von den speziellen Methoden für die Auffindung der akzelerierenden Fasern kann ich hier nur die für den Hund, das Kaninchen und die Katze bestimmten, wiedergeben. Die Operation ist wesentlich verschieden, je nachdem man vom Hals aus, ohne Eröffnung der Pleurahöhle, oder vom Thorax aus, mit oder ohne Eröffnung der Pleura, operiert.

Die Methode zur Auffindung der nervi accelerantes beim Kaninchen vom Hals aus ist von Cyon (Methodik, S. 173/174) ausführlich beschrieben.

Eine Modifikation gibt Hering (1895, S. 465/66) an:

„Ich habe nach einer gleich zu erwähnenden Methode das ganglion cervicale inferius, die Verbindung zum ersten Brustganglion, und, soweit es die gewählte Operationsmethode zuließ, das erste Brustganglion (zuweilen auch das zweite) herausgeschnitten bezw. herausgerissen. Da die Tiere nach der Operation zu Bewegungsversuchen benutzt werden sollten, mußte dieselbe eine möglichst unschädliche sein. Ich verfuhr dabei nach einer Methode, die der von Cyon (p. 173) beschriebenen ähnlich ist, nur daß ich so konservativ als möglich vorging.

Der Hautschnitt, vom Kehlkopf bis zum Sternum reichend, wurde in der Medianlinie des Halses gemacht, darauf die Musculi sterno-mastoidei freigelegt, doppelt unterbunden und zwischen den beiden Ligaturen durchschnitten.

Man legt den Sympathikus frei, nimmt ihn auf einen Faden, sucht, ihm entlang gehend, das ganglion cervicale inferius auf und isoliert dasselbe vorsichtig. Dabei muß man sich hüten, den ductus thoracicus zu verletzen. Um ohne Thoraxöffnung und Rippenresektion möglichst tief eindringen zu können, bediente ich mich des schon von Cyon angeführten Kunstgriffes, mittels eines Hakens die vordere Thoraxwand, soweit es geht, emporzuheben. Kein einziges großes Gefäß braucht unterbunden zu werden, nur kleine Venen. Vom ganglion cervicale inferius schreitet man weiter zur Präparation der Verbindung mit dem ganglion thoracicum I und zur Bloßlegung dieses Ganglions selbst. Die Freilegung desselben ist, da man in einer kleinen Höhle arbeitet, ziemlich schwierig und gelingt nicht bei jedem Tiere in vollkommen befriedigender Weise. Nach der Präparation faßte ich das gangl. thorac. I

bezw. den Grenzstrang des Sympathikus dicht oberhalb dieses Ganglions und riß den Grenzstrang heraus. Dabei ging ein verschieden langes Stück desselben mit; manchmal hatte ich auf diese Weise drei Ganglien exstirpiert. Wo es möglich war, schnitt ich die Ganglien heraus. Die Nerven, welche mit den Ganglien in Verbindung sind, so der Depressor und Zweige vom Vagus, wurden immer durchschnitten. Vom Aufbinden des Tieres bis zum Abbinden verflossen 2,5—2, manchmal auch 3 Stunden. Einige Operationen fanden unter Äthernarkose statt. Während der Operation verlor ich vier Tiere; alle vier starben an Luftembolie."

Dieselbe Operation für den **Hund** ist in der Abhandlung von **Schmiedeberg** (1870, S. 150) angegeben.

„Nachdem man einen auf dem Musculus pectoralis major beginnenden, bis über die Mitte des Halses hinaufreichenden Hautschnitt gemacht, wird die obere Partie des pectoralis major am Manubrium sterni und in der Nähe des Schultergelenks mit Ligaturen umschnürt und zwischen den letzteren quer durchschnitten, so daß die vordere Fläche und der obere Rand der ersten Rippe freigelegt werden. Nachdem die großen venösen Gefäße bis hinunter zur vena superior am besten durch Zerreißen von dem sie umgebenden Bindegewebe befreit sind, werden zunächst die vier größten, vena anonyma, subclavia, jugularis externa und interna, in einiger Entfernung von ihrer Vereinigungsstelle, und falls zwischen der letzteren und den Ligaturen sich noch Äste finden, auch diese unterbunden und alle innerhalb der Unterbindungsstellen durchschnitten. Dadurch kommt man zunächst auf das untere Ende der carotis communis, und nach Entfernung von ein wenig Bindegewebe auf die übrigen arteriellen Gefäße (truncus anonymus, subclavia, mammaria interna, vertebralis, intercostalis suprema, cervicalis profunda, arteria transversa scapulae et cervicalis ascendens), die man wie die venösen einzeln unterbindet und durchschneidet. Die Unterbindung des Truncus anonymus geschieht zwischen dem Ursprung der linken Carotis und seiner Teilungsstelle. Da die letztere sowie die Ursprungsstellen der meisten jener arteriellen Gefäße von den oben genannten Nerven gleichsam umfaßt werden, indem nach vorn der Vagusstamm, der absteigende Teil des Rekurrens, die rami cardiaci und der zweite Verbindungsast beider Ganglien, nach hinten der aufsteigende Teil des Rekurrens und der erste Verbindungszweig der Ganglien liegen, so ist bei der Unterbindung darauf zu achten, daß nicht einer der Nerven mit umschnürt wird, was namentlich mit den ersten Verbindungsnerven wegen der Nähe der arteria vertebralis und mit dem ramus cardiacus superior wegen seiner Lage zur anonyma leicht geschehen kann. Um leichter zum ganglion thoracicum und zu den von ihm abgehenden Nerven zu gelangen, ist es zweckmäßig, den Brustgrenzstrang unterhalb des Ganglions zu durchschneiden, wodurch letzteres, da es mit seiner Unterlage nur locker zusammenhängt, leicht höher hinaufgebracht werden kann."

Cyon fügt (S. 177) der Beschreibung dieser Methodik folgende Bemerkung an: „Die zahlreichen Gefäßunterbindungen, welche **Schmiedeberg** ausführt, können meinen Erfahrungen nach an dieser Stelle leicht vermieden werden. Die Zirkulationsstörungen, welche durch dieselben erzeugt werden, sind unnötige Komplikationen des Versuchs, die für dessen

Erfolg nicht immer als irrelevant betrachtet werden können." Ich kann mich dem nur anschließen. Soviel ich mich erinnere, hat Ludwig die Operation auch später nicht mehr in dieser komplizierten Weise ausgeführt. Wenigstens habe ich unter seiner Aufsicht (und später) den Accelerans ähnlich wie Hering stets so präpariert, daß ich von dem ganglion cervicale inferius, das in der Vagosympathikusscheide liegt, ausgehend, den einen Ast der ansa Vieussenii bis zum ganglion thoracicum primum verfolgt habe. Ehe man das Ganglion erreicht, stößt man auf den zweiten Ast der ansa. Schnürt man diese beiden Nerven nach dem ganglion thoracicum hin ab, und legt sie auf eine Elektrode, so reizt man im allgemeinen die sämtlichen akzelerierenden Fasern der einen Seite, mit Ausnahme eines kleinen Teils, der nach Cyon vielleicht von dem ganglion thoracicum primum direkt zum Herzen zieht. Vergl. auch Wertheimer et Lepage (1899).

Operiert man vom Hals aus, so liegt das ganglion stellatum sehr tief und versteckt in der Wunde. Einwirkungen auf das Ganglion lassen sich bequem vornehmen, wenn man die Brusthöhle eröffnet. Hierzu kann nach Cyon (Methodik, S. 174) bei dem Kaninchen ein Stück vom pectoralis major abgetragen und die erste Rippe teilweise reseziert werden. Ähnlich könnte man beim Hund vorgehen.

Richtiger erscheint es jedoch, bei dieser Operation von der Rückseite des Thorax auszugehen.

Cyon (1868, S. 78/79) hat das ganglion stellatum von der Rückseite des Thorax beim Hunde folgendermaßen präpariert:

„Um mit Bequemlichkeit zum ganglion stellatum und seinen zuführenden Ästen gelangen zu können, wurde das kurarisierte Tier in der Bauchlage befestigt. Durch eine Unterlage unter dem Brustkorb wurde dem Tiere eine nach vorn ziemlich starkgeneigte Lage gegeben. Sodann machte ich in der Mitte zwischen den Wirbeln und dem inneren Rande der Skapula einen ergiebigen halbrunden Hautschnitt, dessen Konvexität den Wirbeln zugewendet war, und dessen stärkste Ausbuchtung den Winkel des Schulterplattes umgab. Darauf trennte ich den musculus levator anguli scapulae dicht an seiner unteren Insertionsstelle vom Schulterblatt und gewann dadurch die Möglichkeit, die operierte Extremität schräg über die vordere Halspartie hinweg nach der anderen Seite herüberzuziehen und so das Schulterblatt beträchtlich vom Brustkorb zu entfernen. Die fünf ersten Rippen lagen dann in ihrer hintern Hälfte ganz frei und dem Operieren leicht zugänglich. Nachdem ich das hintere Dritteil der beiden ersten Rippen reseziert und die betreffenden Interkostalwurzeln entfernt hatte, bot es keine Schwierigkeit mehr, das ganglion stellatum vorsichtig frei zu präparieren und zu isolieren. Für eine leichtere und sorgfältigere Isolation dieser Nerven ist es wünschenswert, die Pleura bei der Resektion der Rippen nicht zu verletzen. Ich erreichte dies dadurch, daß ich die Rippen erst nach vorheriger Ablösung des Periostes resezierte. Bei einiger Übung läßt sich die subperiostale Resektion der Rippen ohne Schwierigkeiten ausführen. Um sich das Aufsuchen des Ganglions zu erleichtern, darf man nur den Interkostalnerven folgend dem Grenzstrang und dann das Ganglion aufsuchen. Es ist für den Ungeübten überhaupt ratsamer, das Ganglion von unten aufzusuchen, da man sonst leicht in gefährliche Kollision mit den Vertebral-

gefäßen gerät. Nachdem ich sämtliche rami communicantes aufgesucht hatte, führte ich unter jeden einen Faden, an dem ein Stückchen Papier mit der entsprechenden Nummer befestigt war."

Herr Langley war so freundlich, mir eine briefliche Mitteilung über diese Methode zukommen zu lassen:

"The accelerator nerves in my experience are very much more easily obtained by cutting through the intercostal muscles than by dissecting downwards from the neck. The nerve can be stimulated without resecting a rib, by tying the sympathetic below the ganglion stellatum, cutting the symp., pulling up the ganglion and cutting all the nerves except the accelerator. Unless there is good reason why the thorax should not be opened, it is naturally better to tie and cut through the first two or three ribs, as in the method I have described in the Journ. Physiol., XV, p. 189, 1893 und XXV, p. 374, 1900. The method of removing the ganglion without puncturing the pleura is briefly described by Anderson in the note sent separately."

Die eben (in dem Brief von Langley) erwähnte Mitteilung Andersons (1904) lautet: „Die ganglia stellata sind bei Katzen und Kätzchen entfernt worden. Um sie zu entfernen, wird die Skapula herab- und auswärtsgezogen und der erste interkostale Raum zwischen dem levator anguli scapulae mit dem musculus rhomboideus freigelegt. Eine weiße Sehne des ilio-costalis bildet einen guten Führer zu der ersten Rippe. Die Interkostalmuskeln in dem ersten Interkostalraum werden durchgerissen nahe dem lateralen Rand dieses Muskels in einer Länge von weniger als einem halben Zentimeter. Das ganglion stellatum und seine Zweige sieht man im Grund dieser Höhle, und das Ganglion kann leicht entfernt werden, seine Zweige können abgeschnitten werden, ohne daß die Pleura dabei verletzt wird. Beide Ganglien können fast ohne Blutverlust in einer halben Stunde ausgeschnitten werden. Die Katzen sind in einigen Fällen ein halbes Jahr nachher noch der Beobachtung unterworfen worden."

Eine Ausschaltung der Vaguswirkung, die bei einer Reizung des vagusaccelerans beim Frosch eintritt, kann durch chemische Agentien hervorgebracht werden, wie dies zuerst von Schmiedeberg (1870, S. 135) geschehen ist. Durch Nikotin, Atropin oder Kurare können die Endigungen des Vagus im Herzen für diesen Zweck gelähmt werden. Eine Reizung des Vagoaccelerans ruft dann nunmehr eine beschleunigende Wirkung hervor.

Von Pawlow (1887) ist untersucht werden, ob die verschiedenen Fasern der Nerven, die zu dem Herzen führen, sich verschieden in bezug auf ihre Reizqualitäten verhalten. Er glaubt nachgewiesen zu haben, daß ein Teil der Fasern speziell für eine Herzschlag verstärkende Wirkung, ein anderer für eine beschleunigende Wirkung verantwortlich zu machen sind. Dasselbe gilt auch für die besonderen Qualitäten einer Reizung der hemmenden Fasern. Die anatomischen Verhältnisse sind in dem Schema (Tigerstedt, Lehrbuch des Kreislaufs, S. 273, Fig. 72) angegeben. (Siehe hierüber auch oben S. 355 Beschreibung von Schmiedeberg.) Daß innerhalb des Herzens selbst die verschiedenen Qualitäten an bestimmte Nervenbahnen gebunden sind, wird weiter unten S. 362 beleuchtet werden.

Anderson 1904. The removal of the stellate ganglia. Journ. of physiol., Vol. XXXI, proceed. of the physiol. soc.
Aubert und Roever 1868. Über die vasomotorischen Wirkungen des nervus vagus, laryngeus und sympathicus. Pflügers Arch., I, S. 211.
Baxt 1876. Über die Stellung des nervus vagus zum nervus accelerans cordis. Arbeiten d. physiol. Instituts, Leipzig, 1875.
v. Bezold 1867. Untersuchungen über die Herz- und Gefäßnerven der Säugetiere. Untersuchungen a. d. physiol. Labor. Würzburg, mit Stezinsky, Bever, Breymann, Dreschfeld, Gscheidlen. II, Leipzig, S. 145.
Böhm 1875. Untersuchung über den nervus accelerator cordis der Katze. Arch. f. exper. Pathol., IV, S. 255.
Cyon 1868. Über die Wurzeln, durch welche das Rückenmark die Gefäßnerven für die Vorderpfote aussendet. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wissensch. XX. S. 73.
Gaskell and Gadow 1885. On the anatomy of the cardiac nerves in certain cold-blooded vertebrates. Journ. of physiol., V, p. 362.
Heidenhain 1882. Untersuchungen über den Einfluß des nervus vagus auf die Herztätigkeit. Pflügers Arch., XXVII, S. 383.
Hering 1903. Über die Wirksamkeit der Nerven auf das durch Ringersche Lösung wiederbelebte Säugetierherz. Pflügers Arch., 99, S. 245.
Hering 1895. Über die Beziehung der extrakardialen Herznerven zur Steigerung der Herzschlagzahl bei Muskeltätigkeit. Pflügers Arch., LX, S. 429.
Hunt 1897. Experiments on the relation of the inhibitory to the accelerator nerves of the heart. (Physiol. Labor. J. Hopkins Univ.) Journ. of exper. med., New York, II, p. 151.
Langley 1892. On the origin from the spinal cord of the cervical and upper thoracic sympathetic fibres. Philos. transact., 183B, p. 85.
Mills 1887. On the physiology of the heart of the snake. Journ. of anat. and physiol. XXII, p. 1.
Muskens 1898. An analysis of the action of the vagus nerve on the heart. (Physiol. Labor. of the Harvard School. Boston.) Amer. journ. of physiol., I, p. 486.
Pawlow 1887. Über die zentrifugalen Nerven des Herzens. (Botkins Labor.) Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 498.
Rutherford 1869. Influence of the vagus upon the vascular system. Journ. of anat. and physiol., 2. ser., IV, p. 402.
Schiff 1849. Arch. f. physiol. Heilk., 8, S. 209.
Schmiedeberg 1870. Untersuchungen über einige Giftwirkungen am Froschherzen. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss., 2. Juni.
Schmiedeberg 1871. Über die Innervationsverhältnisse des Hundeherzens. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss., S. 148.
Stricker und Wagner 1878. Wiener med. Jahrb., S. 370.
Wertheimer et Lepage 1899. Nerfs accélérateurs du cœur et respiration. Arch. de physiol. et de pathol. génér., p. 236.

Kapitel 68.

Reizung und Durchschneidung des kardialen Plexus und der im Herzen verlaufenden Nervenstämme.

Wiederholt hat man das Herz von dem Körper nervös vollkommen isoliert. Das ist schon von Ludwig und Thiry (1864) ausgeführt worden. In der neueren Zeit ist dieser Versuch von Hering (1895) und Friedenthal (1902) wiederholt worden. Sie haben nach der Durchschneidung oder Ausreißung der Vagi und Akzeleratoren Kaninchen oder Hunde tage- und monatelang am Leben erhalten.

Bei einem großen Teil der Untersuchungen über das isolierte Warmblüter- oder Kaltblüterherz ist die Lostrennung des Herzens aus seinem

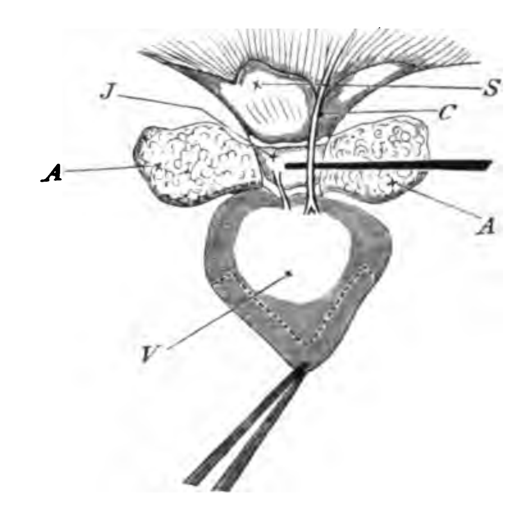


Fig. 13a.
Herz der Schildkröte nach Gaskell. A Atrium, S Sinus, V Ventrikel, J Verbindungswand („junction wall"), zwischen Sinus und Ventrikel, C Koronarnerv.

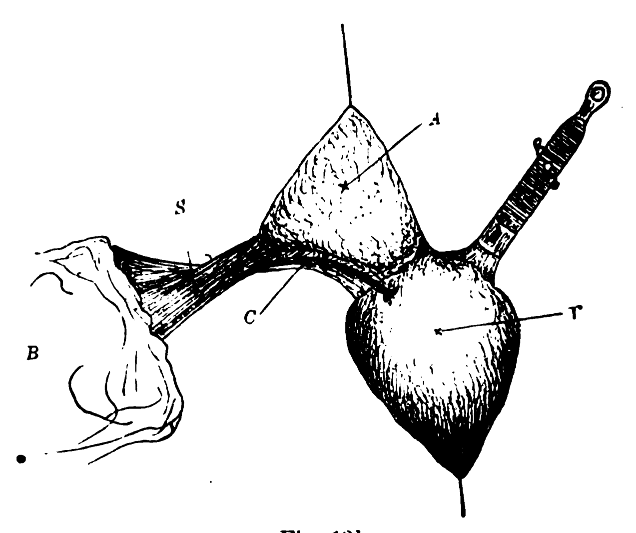


Fig. 13b.
Herz an der Klammer suspendiert, B Körper der Schildkröte.

nervösen Verband von selbst mit der Maßnahme der Ausschneidung verbunden gewesen.

Pawlow (1887) hat die einzelnen Fasern des Plexus cardiacus gereizt und nachzuweisen versucht, daß sie teilweise eine beschränkte inotrope oder auch nur eine chronotrope Wirkung besitzen. Daß Gaskell (1883) bei der

Schildkröte in dem Koronar-Nerv eine Faser entdeckt hat, in der nur eine Qualität der Erregung geleitet wird, ist von ihm in Schäfers Textbook S. 173 ausführlich erörtert worden (s. Fig. B). Hofmann (1895) hat durch eine Versuchsanordnung, die im Kapitel 60 beschrieben worden ist, nachgewiesen, daß bestimmte Erregungen in den Scheidewandnerven geleitet werden. Ebenfalls in Kapitel 60 sind die Methoden behandelt worden, mit denen Hering (1903 bis 1905) die Wirkung der Herznerven auf die Kammer allein oder auf bestimmte Teile des Vorhofs (einzelne Fasern des Accelerans verlaufen rückläufig von den Kammern zu den Vorkammern) demonstriert hat.

Wooldridge (1883) ist, soviel ich sehe, der einzige gewesen, der die Verzweigungen der Nerven in der Kammerwand selbst gereizt hat. Er hat sich dabei der folgenden Methoden bedient. S. 523:

„An den Herzen wohlgenährter Tiere und namentlich der Hunde sind sie (die Kammerwandnerven) dagegen nur mit Hilfe besonderer Verfahrungsarten sichtbar zu machen. Auf einfache und sichere Weise, namentlich dadurch, daß man das Herz des soeben getöteten Hundes durch Auswaschen mit 0,5 prozentiger Kochsalzlösung möglichst von Blut befreit, und nach dem seine Oberfläche mit Karbolsäure, welche durch Erwärmen verflüssigt wurde, bestreicht." Der Verlauf der Fasern ist S. 523 an der Hand von Figuren auf Taf. VII. Fig. 1 u. 2 beschrieben.

S. 525. „Nach dieser Vorbereitung wurde durch die eröffnete Trachea künstliche Atmung eingeleitet und zur Bloßlegung des Herzens und seiner Nerven geschritten. Hierzu genügte ein Fenster, welches sich von der zweiten bis zur fünften Rippe erstreckte. Die Blutung in der Haut- und Fleischwunde stillten rasch ausgeführte Unterbindungen. Jede der vier Rippen wurde, ehe man aus ihnen ein fingerlanges Stück ausschnitt, nahe am Brustbeine und in einiger Entfernung von der Wirbelsäule mit einem biegsamen Messingdrahte oder einer starken Schnur umgeben. Die hierdurch gebildeten Schlingen wurden fest bis zur Verschließung der Interkostalarterien angezogen, und dadurch die störende Blutung aus den eben genannten Gefäßen vermieden. In dem blutfreien Pleuraraum werden nun die Nerven, welche man reizen oder durchschneiden will, mit stumpfen Nadeln und mit Pinzetten aufgesucht und an jeden der freigelegten Stämme und Stämmchen eine Marke befestigt, damit sein Verlauf nach dem Tode des Tieres durch Präparation festgestellt werden kann."

S. 526. „Beim Ablösen der feinen Nervenästchen von dem straff gespanntem Perikardium ist außerdem die höchste Vorsicht nötig, um das Aufreißen der sehr dünnen Vorhofswand zu vermeiden. Kaum nötig wird die Bemerkung sein, daß man sich auch hier nach dem Tode von dem Gelingen der beabsichtigten Zerstörung zu überzeugen hat. Die sorgfältige Anwendung des Karbols leistet dabei die genügende Hilfe."

Um bei Reizungen der Stämme des Accelerans oder des Vagus einen Übergang der Erregung auf andere Bahnen als denjenigen der oberflächlichen Herznerven zu vermeiden, hat Wooldridge durch eine Ligatur die Verbindung zwischen den Vorhöfen und den Ventrikeln unterbrochen.

S. 527. „Zwischen der vorderen Fläche der Vorhöfe und der Hinterfläche der großen Arterien wurde eine geöhrte Sonde durchgeschoben und mittels ihr eine festgedrehte widerstandsfähige seidene Schnur. Eines ihrer Enden

wurde um die Herzspitze herum bis auf die hintere Fläche der Vorhöfe geführt und dann die beiden Enden derselben durch einen Schlingenschnürer fest zusammengezogen. Durch dieses Verfahren gelingt es öfters, die Muskelmasse der Vorhöfe zu zerquetschen, ohne das Perikard zu zerreißen."

Friedenthal 1902. Über die Entfernung der extrakardialen Herznerven bei Säugetieren. (Physiol. Institut Berlin.) Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 135.
Gaskell 1883. On the innervation of the heart, with especial reference to the heart of the tortoise. (Physiol. Labor. Cambridge.) Journ. of physiol. IV., p. 43.
Hering 1895. S. Kap. 64.
Ludwig und Thiry 1864. Berichte d. Wiener Akad. Bd. 49, Abt. II, S. 421.
Pawlow 1887. Über die zentrifugalen Nerven des Herzens. (Botkins Labor.) Arch. f. Anat. und Physiol. S. 498.
Wooldridge 1883. Über die Funktion der Kammernerven des Säugetierherzens. (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 522.

— - —

Kapitel 69.

Die Reizung der Gefässnerven.

A. Verlauf der Vasokonstriktoren und Beobachtungen an ihnen.

Die Operationen an den vasomotorischen Nerven bieten im allgemeinen kein spezielles technisches Interesse. Die Nerven verlaufen in der Peripherie in den gemischten Nervenstämmen, deren Auffindung nicht schwierig ist. Methodisch von Bedeutung sind nur die Operationen an bestimmten Teilen des Sympathikus. Die Auffindung und Reizung des zervikalen Grenzstranges ist unschwierig (Vasomotoren für das Auge, siehe Morat und Doyan 1892, Schultén 1884). Der Brustteil des Sympathikus kann gereizt werden, nachdem eine oder mehrere Rippen reseziert sind. Einzelheiten hierüber finden sich in dem Kapitel 67, das von der Reizung der Akzeleratoren handelt. Ein besonderes Interesse hat der Nervus splanchnicus, dessen Operation von Asp (1867, siehe auch Mall, 1892) ausführlich geschildert worden ist. Ich gebe hier den Auszug (S. 136):

„Blutdruck und Pulszahl nach der Durchschneidung beider Nervi splanchnici des Hundes unterhalb des Zwerchfells.

Die Durchschneidung geschah mit Hilfe eines Verfahrens, welches die Eröffnung des Bauchfellsackes nicht nötig machte. Bei günstiger Lagerung des Tieres und bei Benutzung kleiner Hunde gelingt es, den nervus splanchnicus unmittelbar nach seinem Durchtritt durch das Zwerchfell zwischen den Schenkeln desselben aufzufinden. Als Führer dient die Vena lumbalis prima, die alsbald in die Augen fällt, wenn man gleich unterhalb der letzten Rippe die Scheide des großen Lendenstreckers, und zwar unmittelbar neben ihrem Ursprung von den Querfortsätzen durchschneidet. Sowie man die Vena aufgefunden hat, sieht man sogleich die zugehörige Arterie und den gleichnamigen Nerven. Für den Fortschritt der Operation gewährt es Bequemlichkeiten, die Arterie doppelt zu unterbinden, und alsdann Nerv und Arterie zu durchtrennen. Die Vene verfolgt man sorgfältig gegen ihre Einmündung, hierbei trifft man sicher auf die Nebenniere, da die Vene regelmäßig über dieses Organ hinläuft. Sowie die Nebenniere aufgefunden ist,

zieht man dieselbe mit einem stumpfen Haken in die Wunde herein, ein Handgriff, der für die Tiere sehr schmerzhaft ist, weil er ohne eine Zerrung des sehr empfindlichen und mit der Nebenniere zusammengehefteten nervus splanchnicus nicht ausgeführt werden kann. Hält ein Gehilfe die leicht bewegliche Nebenniere in der Wunde fest, so kann man mit zwei Pinzetten den Ast des Splanchnikus aufsuchen, welcher in die Nebenniere geht; von ihm aus dringt man dann zum Stamm des Splanchnikus, wobei zu bemerken ist, daß dieser Stamm rechterseits unterhalb und linkerseits oberhalb der Nebenniere gegen die Darmgefäße hin verläuft. Bei einiger Vertrautheit mit der Anatomie der betreffenden Regionen und bei Unterstützung durch zwei geübte Gehilfen gelingt es sicher, den Nerven ohne Verletzung des Peritoneums vollständig zu durchschneiden. Ist dieses gelungen, so sind die Tiere gleich nach der Operation verhältnismäßig munter und die Heilung der Wunde, vorausgesetzt, daß man einige Sorgfalt auf die Behandlung derselben verwendet, geht gut von statten. Wurde dagegen das Bauchfell verletzt, so tritt der Tod in der Regel durch Peritonitis ein.“

Magnus (1906) hat bei Katzen sämtliche postganglionäre Nerven des Darmtraktus, der Milz und des Pankreas und vermutlich der Leber (die Äste des Splanchnikusgebiets) reseziert. Schon zwei Wochen nach der Operation hatte der Blutdruck wieder die normale Höhe. Es war eine Restitution des Tonus im peripheren Apparate der Gefäßwände erfolgt.

Ich füge weiter eine Schilderung der anatomisch-physiologischen Verhältnisse der Nerven und Gefäße des Ohrgebietes an, die von Lovén (1866) gegeben wird. Vergleiche auch François Franck (1877).

S. 91: „Das äußere Ohr des Kaninchens empfängt Äste vom ersten Halsganglion des Sympathikus, von zwei Rückenmarksnerven (Auricularis anterior und posterior) und von vier Gehirnnerven: Facialis, Trigeminus, Vagus und Glossopharyngeus.

Die sympathischen Nerven entspringen bekanntlich vom inneren Rand des ersten Halsganglions und verlaufen in enger Verbindung mit den Arterien, die sich am Ohr verzweigen.

Der vordere Ohrnerv, vom Plexus cervicalis, hauptsächlich aber von den vorderen Ästen der zweiten und dritten Zervikalnerven entspringend, tritt am hinteren Rande des Kopfnickers hervor und verläuft, nur von Haut und Hautmuskeln bedeckt nach vorn und aufwärts gegen das äußere Ohr. Er nimmt einige Fasern vom Nervus cervicalis superficialis auf, sendet einige Zweiglein zur Haut der Parotisgegend und teilt sich zuletzt in zwei Äste, einer wendet sich nach vorn, um sich an der vorderen Seite des hinteren dünnen Randes des Ohrlöffels zu verzweigen; der andere bleibt ziemlich in der Mitte der hinteren Fläche, wo er sich bis an die Spitze des Löffels ausbreitet.

Der hintere Ohrnerv entsteht vom hinteren Aste des zweiten Zervikalnerven, geht, nachdem er zwischen den tiefen Nackenmuskeln einige Muskeläste abgegeben, nach außen und vorwärts von ein Paar dünnen Muskelschichten bedeckt, zu der oberen Seite der Ohrwurzel, und durch einen knorpeligen Fortsatz desselben an und entlang dem vorderen stumpfen Rande des Ohrs.

Nervus facialis gibt zu den Muskeln des äußeren Ohres eine sehr große Anzahl von Ästen ab, zum Teil schon, bevor der Hauptstamm der Nerven

den Fallopischen Kanal verlassen hat, zum Teil aber erst vor dem knorpeligen Gehörgang.

Ramus auriculo-temporalis des Trigeminus tritt am hinteren Rande des aufsteigenden Unterkieferastes aus der Tiefe hervor und teilt sich sogleich in drei Hauptzweige, von welchen einer nach außen und unten zieht, um sich mit dem Facialis zu verbinden, einer in der Schläfengegend sich verbreitet, und der dritte in zwei oder drei lange, dünne Fäden sich auflöst, die bis zum Ausschnitt am unteren Rande der Ohröffnung verfolgt werden können.

Der Arnol'dische Nerv (Ramus auricularis vagi) ist beim Kaninchen verhältnismäßig nicht unbedeutend. Er entsteht hoch oben im Foramen lacerum aus zwei Wurzeln — deren eine aus einem Ganglion des Vagus, die andere vom Glossopharyngeus sich ablöst; dann tritt er durch einen eigenen knöchernen Gang in der oberen hinteren Wand der Paukenhöhle zum Fallopischen Kanal, wo er sich teils mit dem Nervus facialis verbindet, teils aber schräg über ihn fortgeht, um durch den Knochen an der oberen Fläche des knorpeligen Gehörganges herauszutreten; hier legt er sich eine Strecke lang an den Knorpel an, durchbohrt schließlich denselben und löst sich auf der konkaven Fläche der Ohrmuschel in seine Endzweige auf. Siehe Fig. 1 und 2.

S. 92: Um die Veränderungen, welche im Durchmesser der Aurikulargefäße eintreten, bequem beobachten zu können, und um jede Störung des Blutdrucks zu vermeiden, welche durch Lagenveränderungen des Ohrs bedingt werden könnten, gab ich dem Kopfe und Ohre eine fixierte Stellung, die während der ganzen Versuchsdauer unverrückt erhalten werden konnte. Hierzu bediente ich mich einer Schraubenzange, welche im Leipziger Laboratorium zu ähnlichen Zwecken verwendet wird. Ich halte es für unnötig, dieses einfache Instrument zu beschreiben; dem Verständnis ist genügt, wenn ich sage, daß der Kopf des aufgebundenen Tieres durch eine Kornzange, welche die Wangen umgreift, erhoben wird, und daß eine Pinzette die Spitze des Ohrlöffels faßt und ausgebreitet emporhält, ohne einen Druck auf die Wurzel und den Körper des Löffels auszuüben. Nachdem Kopf und Ohr auf diese Weise fixiert waren, wurden der Reihe nach beide Nervi auriculares aufgesucht und jeder doppelt und fest unterbunden und endlich zwischen den Ligaturen durchschnitten. Das peripherische und zentrale Ende der durchschnittenen Nerven konnte nun durch Luft isoliert und mittels des gewöhnlichen Schlittenapparates bequem gereizt werden. Ich muß auf das dringendste zuraten, bei ähnlichen Versuchen jedesmal beide Nerven auf ihre etwaigen Leistungen zu prüfen, da ich gefunden habe, daß die im folgenden aufgezählten Erscheinungen nicht gleich deutlich durch jeden von beiden Nerven hervorgerufen werden können, sondern daß bald dieser, bald jener Nerv vorzugsweise wirksam ist." (In der Abhandlung ist auch noch die Anatomie der Schenkelarterie, Arteria saphena S. 96 behandelt.)

Herr Bayliss übermittelte mir folgende methodisch wichtige Bemerkung über den Verlauf der Venen der Submaxillardrüse bei der Katze:

Veins of submaxillary gland in the cat. As I do not remember to have seen any figure of these, perhaps a sketch of their usual arrangement

may be useful. The gland vein (A) nearly always opens into the more internal of the two large veins forming the fork, rarely into the external one. By tying ligatures at B, C, D and inserting a canula at E in the external jugular vein, the rate of flow can be readily measured. I use the drop-recording method given by Marey in „Methode Graphique“ p. 163.

Die Vasomotoren der Portalvene sind hauptsächlich von Mall (1892), Bayliss und Starling (1894) untersucht worden. Sie verlaufen in dem Splanchnicus.

Die Untersuchungen, die sich mit der Beobachtung der vasomotorischen Wirkungen an den Körpervenen beschäftigen, haben kein besonderes technisches Interesse. Dasselbe gilt für die Beobachtung lokaler Reizwirkungen an den Gefäßen oder der Wirkung von Temperaturveränderungen, Giften, Organ-

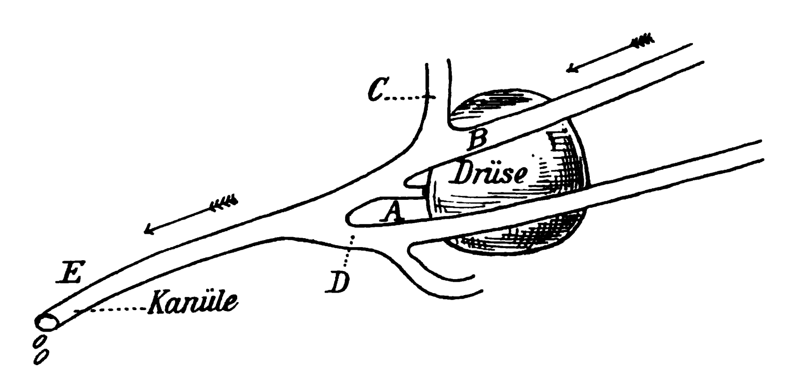


Fig. 14.
Verlauf der Venen der Submaxillardrüse nach Bayliss.

extrakten oder die Beobachtungen an ausgeschnittenen Gefäßstückchen (s. die unter der Leitung von v. Frey entstandene Arbeit von O. Meyer 1906, weiter Langendorff 1907).

Wie man die Rami communicantes des Brustteils des Sympathicus auffinden und reizen kann, ist in der Abhandlung von Langley (1892) kurz geschildert. Ich referiere hierüber:

Als Tiere wurden Hunde, Katzen und Kaninchen, meist Katzen, am wenigsten Hunde verwendet. Stets wurde narkotisiert. Bei Hunden: Erst Morphium subkutan, dann ACE-Mischung. Bei Katzen: Chloroform, dann ACE-Mischung. Meist dazu ungefähr 2 ccm von 2 % Morphium aceticum subkutan. Bei Kaninchen: Ein halbes bis ein gran Chloralhydrat per rectum, später ACE-Mischung.

Das Rückenmark wurde in verschiedener Länge freigelegt. Gewöhnlich wurden zuerst 2 oder 3 Nerven aufgesucht und gereizt, dann weiter die Nerven über und unter diesen freigelegt und gereizt. Bisweilen wurden die Nerven außerhalb der Dura unterbunden und durchschnitten. Manchmal wurde dazu das Rückenmark in dem höchsten Niveau, das zugänglich war, durchschnitten. Unter Umständen wurden die Nerven außerhalb der Dura unterbunden und das Rückenmark mit seiner Dura entfernt. Oder das Rückenmark wurde in Segmente entsprechend jedem Spinalnerv durchschnitten, oder

schließlich wurde die Dura geöffnet, das Rückenmark entfernt und die Nerven außerhalb der Dura gereizt. Von L. wurden keine großen Differenzen bei diesen Methoden beobachtet. Aber wahrscheinlich ist es besser, das Rückenmark nicht zu durchschneiden, wenn Gefäßveränderungen beobachtet werden sollen. Vergl. oben S. 354.

Ferner teile ich die Angaben Langleys über den Ursprung der Vasomotoren für den Kopf mit (Literatur: Budge 1853, Bernard 1862, Salkowski 1867, Dastre und Morat Comptes rendu 1883, ebenso Système Nerveux Vasomoteur. Paris 1884). Zusammenstellung der Ergebnisse S. 99. Beobachtungen des Erbleichens oder Errötens: Bei der Katze am Ohr, der Schleimhaut des Mundes und der Lippen und der Zunge; bei dem Hund dieselbe Schleimhaut, außerdem die conjunctiva; bei dem Kaninchen Ohr conjunctiva und „gums". Resultate bei der Katze und dem Hund: Halsnerven haben keinen Einfluß. Der erste Brustnerv einen schwachen und nicht konstanten Effekt. Starker Effekt beim 2. und 3. Brustnerven, 4. und 5. Nerv schwächer. Unterhalb des 5. kein Effekt. Beim Kaninchen keine Wirkung vom 1. Brustnerven, schwache Wirkung vom 2. und 3., starke vom 4. und 5., wieder schwache vom 6. bis 8. Unterhalb keine Wirkung.

B. Vasodilatatoren. Trennung von den Vasokonstriktoren.

Die Vasodilatatoren verlaufen, wie bekannt, zunächst wesentlich in den Hirnnerven. oder in den Spinalnerven. Sie mischen sich später mit den Vasokonstriktoren, so daß also in den gewöhnlichen Nervenstämmen beide Arten von Nerven nach der Feststellung von Goltz (1874) gemischt sind. Ihre Auffindung, Reizung oder Durchschneidung hat keine technischen Schwierigkeiten. Ich beschränke mich hier auf die Wiedergabe der Schilderung der Auffindung des Nervus erigens (Eckhard 1863), von Langley Pelvic nerve genannt, nach Lovén (1866).

S. 103/4. „Von den Nerven, welche der portio membranacea entlang laufen, gehören nur die auf der lateralen und hintern (obern) Fläche gelegenen den Nervi erigentes an; die Reizung der vordern bringt weder Erektion hervor noch wird ihr Entstehen durch die Durchschneidung der vordern Nerven beeinträchtigt. Beides geschieht dagegen durch das entsprechende Verfahren mit den Nerven, welche auf der obern und seitlichen Fläche der portio membranacea verlaufen. Diese können nun auch und zwar zum größten Teil in die von Eckhard beschriebenen Nervi erigentes des Sakralplexus verfolgt werden, und zum andern stehen sie mit den Fortsetzungen des plexus hypogastricus in Verbindung. Nach der Abbildung, welche J. Müller von den Nerven der entsprechenden Stellen beim Menschen geliefert, ist hier das Schema der Verteilung das nämliche.

Die lateralen Bündel laufen untereinander parallel und auch größtenteils gesondert, indem nur die Fäden, welche am meisten gegen die vordere (untere) Fläche der pars membranacea herandringen, sich mit den Fasern des Nervus pudendus verschlingen, welche von letzterem Nerv gegen die Prostata und zwar auf der vordern Fläche der Harnröhre verlaufen. — Die lateralen Bündel können bis zu dem Ort verfolgt werden, wo sich die arteria profunda penis an der Seite des bulbus urethrae in ihre Endäste auflöst. An diesem

Ort bilden die Zweige mehrerer Nervenbündel in Gemeinschaft mit Ästen des Nervus pudendus ein äußerst dichtes Netz. Aus diesem dringen Fasern mit den Gefäßen in das corp. cavernosum urethrae ein, andere verbreiten sich in den Wandungen der arteria bulbi und ihrer größeren Äste, wo sie bis in die Muskelschicht hinein verfolgt werden können. Die Fasern sind nach Art der Bindegewebsbündel, jedoch noch ausgeprägter wellenförmig gebogen und äußerst blaß; aus diesem Grunde können sie nur durch Säuren oder Karmintinktion sichtbar gemacht werden.

Die hintern Bündel beider Seiten anastomosieren ausgiebig miteinander und bilden einen plexus, der unmittelbar auf der Muskelhaut der Harnröhre liegt; sie entziehen sich alsbald der Verfolgung, sowie sie in das äußerst dichte mit elastischen Fasern reichlich durchsetzte Bindegewebe eintreten, das sich im hintern Teil des Bulbus unmittelbar innerhalb des musc. bulbocavernosus findet.

Ganglien und ganglienartige Massen habe ich an folgenden bisher unbekannten Standorten aufgefunden. 1). An der hintern Fläche der portio membranacea urethrae; sie sind bis auf einige Linien vor der hintern Grenze des bulbus, besonders reichlich aber in der Vertiefung zwischen Prostata und Harnröhre nachweisbar. Die Ganglienkörper liegen entweder einzeln oder gruppenweise; der Form nach sind sie entweder gewöhnliche Ganglienzellen mit viel gelblichem, körnigem Protoplasma, oder sie sind von eigentümlicher Gestaltung. Da sich unter den von Beale, Arnold, Courvoisier gezeichneten Formen keine ganz entsprechende findet, so habe ich in Fig. 3 eine solche wiedergegeben; sie ist aus dem plexus hypogastricus, und zwar aus einem Nerven genommen, der unmittelbar auf der pars membranacea auflag ... 2). In dem dichten Bindegewebe am hintern (oberen) Teile des Bulbus liegen Ganglienzellen mit wenigem und sehr feinkörnigem Protoplasma zu größern oder kleinern Haufen oder einzeln zwischen den Nervenfasern ... 3). In den Netzen, welche die lateralen Bündel der Nervi erigentes um die Gefäße an der Seite des Bulbus bilden, liegen eigentümliche Anschwellungen der blassen Nervenbündel, die mit zahlreichen Kernen und einer sehr blassen, feinkörnigen Masse gefüllt sind. (Fig. 4 der Abhandlung.)

Aus der Abhandlung von v. Frey (1876) entnehme ich folgende Notiz über die Reizung der chorda tympani:

„S. 92/93. Da es der Befestigung der Nerven innerhalb der Elektroden einen Vorteil gewährt, wenn der Stamm des n. lingualis von ihnen umgriffen wird, so durchschnitt ich nicht bloß den Nerven etwas oberhalb der Abgangsstelle der Chorda, sondern ich trennte auch von dem peripheren Stumpfe alle Seitenäste ab, die er noch abzugeben pflegt."

Die beiden Nervengattungen, die Vasokonstriktoren und Vasodilatatoren, zeigen ein wesentlich verschiedenes physiologisches Verhalten, so daß auch bei der Reizung eines gemischten Nervenstamms ihre besondere Wirkungsweise erkannt werden kann.

1. Wenn Vasokonstriktoren und Dilatatoren zu gleicher Zeit gereizt werden, überwiegt zunächst der gefäßverengernde Einfluß über den erweiternden. Als Nachwirkung erscheint aber der dilatatorische Effekt. (v. Frey 1877.) Im übrigen funktionieren sie im allgemeinen als Antagonisten, so daß sie sich gegenseitig in ihrem Reizerfolg aufheben. (Cybulski und

v. Anrep 1884.) Der gefäßverengernde Einfluß überwiegt im allgemeinen, wie dies Bayliss (1893) durch Verbindung einer Erstickung mit einer Depressorreizung festgestellt hat.

2. Lepine (1876) hat gefunden, daß, wenn eine Extremität abgekühlt wird, eine Reizung des Ischiadicus Gefäßerweiterung hervorruft, während dann, wenn das Bein erwärmt wird, Verengerung eintritt. In ähnlicher Weise erzeugt die Erstickung in einem warmen Kaninchenohr Gefäßverengerung, in einem kalten Erweiterung.

3. Wenn die vasomotorischen Nerven von den Zentralnervenorganen abgeschnitten werden, degenerieren die Vasokonstriktoren schneller als die Vasodilatatoren. Die Vasodilatatoren behalten ihre Erregbarkeit etwa 6—10 Tage nach der Durchschneidung, während die Vasokonstriktoren schon am dritten oder vierten Tag unerregbar werden. (Dziedziul 1880.)

4. Die Vasodilatatoren werden leichter durch selten — weniger als 5 in der Sekunde — erfolgende Induktionssschläge erregt. Die Vasokonstriktoren werden leicht durch tetanisierende Ströme gereizt. (Bowditch und Warren 1886.)

5. Wenn der tetanisierende Strom stark ist, tritt zuerst die Vasokonstriktion auf, wenn er sehr schwach ist, erscheint gewöhnlich zuerst die Gefäßerweiterung.

6. Wenn der Ischiadicus bis auf 3° C. abgekühlt wird, werden die Vasokonstriktoren vor den Dilatatoren gelähmt. (Howell, Budgett und Leonard 1894.)

Die Latenzzeit für die Vasodilatatoren ist gewöhnlich länger als für die Vasokonstriktoren. Analog wird der maximale Erweiterungseffekt langsamer erreicht und schwindet langsamer als der maximale Veränderungseffekt, vergl. unter 1 (Darstellung nach Schäfers Textbook II, S. 134/135.)

Zu bemerken ist noch, daß Goltz (1874 S. 182) die Überzeugung ausspricht, daß die einfache Durchschneidung eines (gemischten) Nerven als mächtiger Reiz auf die in ihm enthaltenen gefäßerweiternden Nerven wirkt.

C. Methoden zur Feststellung der vasomotorischen Wirkung.

Die vasomotorischen Wirkungen sind bis jetzt durch folgende Methoden festgestellt worden:

1. Die unmittelbare Beobachtung der Röte eines durchsichtigen Teils, z. B. des Ohres vom Kaninchen, der Submaxillardrüse, der Mundschleimhaut und der Schleimhaut der Zunge (Luchsinger 1876. Vergl. S. 368 Langley).

Mikroskopisch ist die Veränderung der Gefäßweite festgestellt und gemessen worden. So an der Schwimmhaut, dem Mesenterium und der Zunge des Frosches. Auch an dem musculus submaxillaris des Frosches. (Gaskell 1877.) Nussbaum (1875) hat bei seinen Untersuchungen über die Lage der Gefäßzentren die rhythmischen Kontraktionen der Arterien in der Schwimmhaut des Frosches beobachtet. Stricker (1865) und Steinach und Kahn (1903) haben ihre Beobachtungen über das Kontraktionsvermögen der Kapillaren an den Gefäßen der Nickhaut und der membrana perioesophagealis des Frosches angestellt. Die direkte Beobachtung der Veränderung eines größeren Gefäßes ist von Lovén (1866) vorgenommen worden. Er

hat die Arteria saphena des Kaninchens hierzu gewählt. (S. 96 und 97.) Prussak (1868) hat auf diese Weise die Blutgefäße in der Paukenhöhle beobachtet, die unter dem Einfluß des Grenzstranges des Halssympathikus stehen.

François Franck (1903) hat Moment- und Serienphotographien der Gefäße und Lymphgefäße bei Magnesiumlicht aufgenommen.

Dogiel und Archangelsky (1907) haben, um den Einfluß der Herztätigkeit bei derartigen Beobachtungen auszuschließen, das Herz während der Beobachtung des Gefäßeffektes in Diastole gehalten.

2. Über den Wert der Temperaturmessungen zur Erkenntnis der vasomotorischen Wirkungen ist in Kapitel 49 das Nähere gesagt worden. Die ältere Literatur findet sich in Hermanns Handbuch, Artikel von Aubert.

3. Eine sichere Methode würde die Bestimmung des Blutdurchflusses durch ein ausgeschnittenes Organ sein, wenn es gelänge, den Tonus der Vasomotoren bei einem derartigen Versuch konstant zu erhalten. Er ist aber im höchsten Grade abhängig von der Temperatur und der Blutbeschaffenheit, so daß bis jetzt diese Methode noch nicht zu brauchbaren Resultaten geführt hat (S. Schäfer II, S. 133), außer bei dem ausgeschnittenen Herzen selbst. (S. Langendorff 1907.)

4. Messung des Sekundenvolumens für das betreffende Gefäßgebiet. Hierzu kann die Stromuhr dienen, die in die Arterie oder die Vene eingesetzt werden kann. So hat Burton-Opitz (1907) die Stromuhr in die Lungenvene eingeführt, um die Vasomotoren des Lungenkreislaufs zu studieren.

Weiter kann man den Ausfluß des Blutes aus einer Vene feststellen. Mit dieser Methode haben Gaskell (1876) an den Blutgefäßen der Schenkelmuskeln und v. Frey (1876) an den Gefäßen der Speicheldrüsen gearbeitet.

Über diese Verfahren und die Methode Krogh (1907) siehe Kap. 45.

5. Die plethysmographische (onkometrische) Methode ist in Kapitel 46 ausführlich beschrieben worden.

6. Bestimmung des Blutdruckes im zuführenden Gefäß, insbesondere unter Vergleichung mit dem Seitendruck in der Aorta. Den Seitendruck auch einer kleinen Arterie kann man bestimmen, wenn sie durch eine Anastomose mit einer anderen verbunden ist, indem man mit dem peripheren Stumpf des letzteren Gefäßes ein Manometer verbindet und so darin den Blutdruck mißt. Falls man es mit Endarterien zu tun hat, die nur durch Kapillaren miteinander anastomosieren, bestimmt man auf diese Weise den Druck in den Kapillaranastomosen. (Hofmann in Nagels Handbuch S. 289.) Schon Lovén (1866 S. 107) hat aus Veränderungen des Blutdrucks im Penis auf vasomotorische Wirkungen geschlossen. Ebenso Dastre und Morat (1879).

Siawcillo (1900) empfiehlt, zu Versuchen über Gefäßinnervation den Blutdruck im peripherischen Abschnitt eines unterbundenen Gefäßes zu registrieren; ist es eine Arterie, so wird so der Druck in dem meist feinen Gefäß, welches als Anastomose wirkt, bestimmt; ist es eine Vene, der Druck in der versorgenden Arterie. Auf diese Weise können lokale Gefäßwirkungen sehr fein beobachtet werden, wofür S. Beispiele liefert. S. hat das Verfahren 1895 unabhängig von François Franck (1895) gefunden. Dieselbe

Methode ist von Biedl und Reiner (1900) und Nolf (1902) angewendet worden.

Daß eine Vergleichung des Drucks in der Arterie und der Vene eines Gebietes zu Schlüssen über vasomotorische Wirkungen dienen kann, ist von Henriques (1892) und François Franck (1895) für den Lungenkreislauf gezeigt worden.

7. Der Freundlichkeit von Herrn Bayliss verdanke ich folgende methodisch interessante Notizen:

Evisceration. I have made use of this operation in order to lessen the effects of the changes in general blood-pressure when making observations on vascular reflexes in such organs as the limbs or salivary glands. It is easily carried out by ligaturing in order, between double ligatures, the rectum, the inf. mesenteric artery, superior mesenteric artery und the duodenum with the portal vein etc. en masse with strong string. By dividing between each of these ligatures the intestines can be removed. The spleen is also tied off and, in the cat or rabbit, the stomach also. It is well to tie the renal vessels so that by injection of saline the blood-pressure can be raised if necessary. Vergl. S. 326.

Mercury valve or compensator. I have found in difficult cases the use of a device of this kind of much value. A canula inserted in a large artery is connected by thick-walled caoutchouc tubing to the top of a glass vessel containing mercury, which is itself in connection with a mercury reservoir. The former vessel stands in water at body-temperature:

The animal having received hirudin, the mercury reservoir is lowered until the vessel (A) is filled with blood, if a fall of blood-pressure is to be

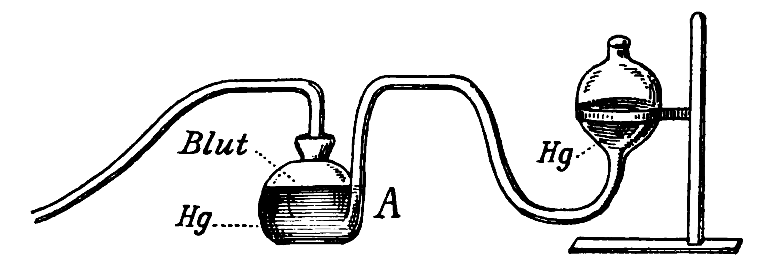


Fig. 15.
Apparat von Bayliss zur Ausgleichung der Blutdruckschwankungen.

counteracted. Suppose now that the depressor is excited, the blood-pressure falls and therefore blood from the store (A) runs in. Although absolute prevention of fall of pressure is not to be obtained in this way, the fall is greatly diminished and effects in small organs can be seen, which would otherwise have been overpowered. The use to counteract a rise of pressure will be obvious.

Asp 1867. Beobachtungen über Gefäßnerven. Berichte d. k. sächs. Ges. d. Wiss., Leipzig, S. 135.

Bayliss 1893. On the physiology of the depressor nerve. (Physiol. Labor. Univ. Coll. London.) Journ. of physiol., XIV, p. 303.

Bayliss and Starling 1894. On the origin from the spinal cord of the vaso-constrictor

nerves of the portal vein. (Physiol. Labor. Guy's Hospit.) Journ. of Physiol., XVII, p. 120.

Biedl and Reiner 1900. Studien über Hirnzirkulation und Hirnödem. Pflügers Arch., LXXIX, S. 158.

Bowditch and Warren 1886. Plethysmographic experiments on the vasomotor nerves of the limbs. With appendix by F. W. Ellis. Journ. of physiology, VII, p. 416.

Burton-Opitz 1907. Über die Vasomotoren des Lungenkreislaufes. Zentralbl. f. Physiol., 21, S. 95.

Cybulski und v. Anrep 1884. Fortschritte d. Anat. u. Physiol., II, S. 52.

Dastre und Morat 1879. De l'innervation des vaisseaux cutanés. (Chauveaus Labor.) Arch. d. phys. norm. et pathol., p. 393.

Dogiel und Archangelsky 1907. Die gefäßverengernden Nerven der Kranzarterien des Herzens. Pflügers Archiv. 116, S. 482.

Dziedziul 1880. Beiträge zur Frage über gefäßerweiternde Nerven. Militärärztl. Journ., April- und Maiheft.

Dziedziul 1880. Fortschritte d. Anat. u. Physiol., II. S. 68.

François Franck 1877. Recherches sur l'anatomie et la physiologie des nerfs vasculaires de la tête. Trav. du labor. de Marey, 1875, p. 165.

François Franck 1895. Nouvelles recherches sur l'action vaso-constrictive pulmonaire du grand sympathique. (Labor. de physiol. pathol. des hautes études.) Arch. d. physiol. norm. et pathol., p. 744 und p. 816.

François Franck 1903. Exploration des vaisseaux mésentériques sanguins et chylifères au moyen de la photographie instantanée. C. R. d. la soc. d. biol., p. 854, 939, 1448, 1538, 1701.

v. Frey 1877. Über die Wirkungsweise der erschlaffenden Gefäßnerven. Arbeiten d. physiol. Anstalt Leipzig, 1876, S. 89.

Gaskell 1876. Über die Änderungen des Blutstroms in den Muskeln durch die Reizung ihrer Nerven. Arbeiten des physiol. Instituts Leipzig, S. 45.

Goltz 1874. Über gefäßerweiternde Nerven. Pflügers Archiv, IX, S. 174.

Henriques 1892. Untersuchung des Blutdruckes im Lungenkreislauf. Skandinav. Arch. f. Physiol., 4, S. 229.

Howell, Budgett and Leonard 1894. Journ. of physiol., VI, p. 306.

Krogh 1907. Siehe Kap. 45.

Langendorff 1907. Über die Innervation der Koronargefäße. Zentralbl. f. Physiol., 21, S. 551.

Langley 1892. On the origin from the spinal cord of the cervical and upper thoracic sympathetic fibres. Philos. Transact., 183B, p. 85.

Lepine 1876. De l'influence qu'exercent les excitations du bout périphérique du nerf sciatique sur la température du membre correspondant.

Lovén 1866. Über die Erweiterung von Arterien infolge einer Nervenerregung. Berichte d. k. sächs. Ges. d. Wiss., Mai.

Luchsinger 1876. Fortgesetzte Versuche zur Lehre von der Innervation der Gefäße. (Physiol. Labor. Zürich.) Pflügers Arch., XIV, S. 391.

Magnus 1906. Über peripheren Gefäßtonus im Splanchnikusgebiet. Pflügers Archiv, 115, S. 331.

Mall 1892. Der Einfluß des Systems der Vena portae auf die Verteilung des Blutes. (Physiol. Institut Worcester, Clark Univ.) Arch f. Anat. u. Physiol., S. 409.

Meyer, Oskar, 1906. Über einige Eigenschaften der Gefäßmuskulatur, mit besonderer Berücksichtigung der Adrenalinwirkung. Ztschr. f. Biol., XLVIII, S. 352.

Morat et Doyon 1892. Les vaso-moteurs de l'œil. Arch. d. physiol. norm. et pathol., p. 60.

Nolf 1902. Procédé nouveau applicable à l'étude des substances à action vaso-motrice et à la détermination de la durée totale de la circulation. Bullet. d. l'acad. d. Belg., p. 895.

Nussbaum 1875. Über die Lage des Gefäßzentrums. Pflügers Archiv, X, S. 374.

Prussak 1868. Zur Physiologie und Anatomie des Blutstroms in der Trommelhöhle. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. XX., S. 101.

Schultén 1884. Arch. f. Ophthalmol. XXX, S. 65.
Siawcillo 1900. Über eine Methode der Messung der Schwankungen des Blutdruckes in den feinsten Gefäßen. (Pathol. Institut. Moskau.) Physiologiste russe (Moscou) II., S. 36.
Steinach und Kahn 1903. Echte Kontraktilität und motorische Innervation der Blutkapillaren. (Physiol. Institut Prag.) Pflügers Archiv 97, S. 105.
Stricker 1865. Untersuchungen über die kapillaren Blutgefäße in der Nickhaut des Frosches. Ber. d. Wiener Akad. d. Wiss. LI, S. 16.

Kapitel 70.

Reflektorische Erregung der Herz- und Gefässnerven. Der Depressor.

A. Reflektorische Erregung der Herznerven.

Eine reflektorische Erregung der zentrifugalen Herznerven kann fast von allen Endigungen der sensiblen Nerven aus vorgenommen werden. Diese Versuche bieten selbstverständlich kein spezielles methodisches Interesse. Ich erwähne hier nur diejenige Art der reflektorischen Reizung des Vagus, die sehr häufig angewandt worden ist, das Beklopfen der Baucheingeweide in dem Goltzschen Klopfversuch. Engelmann hat die meisten seiner Versuche über die Wirkung der Vaguserregung mit reflektorischer Reizung ausgeführt. Ferner ist noch bemerkenswert der Versuch von François Franck (1880), in dem er eine reflektorische Erregung der hemmenden Fasern durch chemische Reizung der Herzinnenfläche erzielt hat. (Zitiert nach Schäfer II, S. 57.)

B. Reflektorische Erregung der Vasomotoren.

Gefäßreflexe können fast auf allen sensiblen Bahnen ausgelöst werden. Spezielle Angaben über den Verlauf dieser Bahnen sind natürlich hier nicht am Platze, außer der Beschreibung der Depressorbahn, die im Abschnitt C behandelt wird.

Die Methoden zur Auffindung der sensiblen Bahnen im Rückenmark sind in Kapitel 66 behandelt.

Auch die Methodik zur Aufklärung der Traube-Heringschen Wellen ist keine eigenartige, sie ist identisch mit den allgemeinen Methoden zur Untersuchung der vasomotorischen Veränderungen.

C. Der Nervus depressor.

Die Anatomie des nervus depressor ist sehr eingehend behandelt in der Abhandlung von Schumacher (1901). Sch. hat den Verlauf der Herznerven bei vielen Klassen der Säugetiere (nur anatomisch) festgestellt. Ich gebe hierüber ein kurzes Referat:

„Depressor untersucht bei den Beuteltieren, Gürteltieren, dem Pferd, dem Lama, der Hausziege, dem Mufflon, dem Kaninchen und Aguti, dem

gemeinen Seehund, dem Löwen, der Hauskatze, dem Hund, dem Fuchs, dem Ichneumon; Affen: Orang-Utang.

Kaninchen. Literatur Ludwig und Thiry, Wiener Berichte, Abt. II, Bd. 49 1864; Bever, Würzburger Physiol. Laboratorium H. 2. 1887; Bezold, Allgem. mediz. Zentralzeitung, Berlin 1862. Ferner Untersuchungen über die Innervation des Herzens, 2. Abt. Leipzig 1863. Cyon und Ludwig, Sächsische Berichte 1866. M. u. E. Cyon, über die Innervation des Herzens vom Rückenmark aus. Müllers Archiv 1867. Dieselben C. r. des séances de l'académie des sc. 1867. Schneider, Inaugural-Dissertation Berlin 1867. Finkelstein, Du Bois Archiv 1880. Viti, Arch. ital. de Biol. Bd. V, 1884. Krause, Anatomie des Kaninchens, Leipzig 1884. Tschirwinsky, Zentralblatt für Physiol. Bd. 9, 1896. Kazem-Beck, Du Bois Archiv 1888, E. v. Cyon, Pflügers Archiv 70, 1898. Athanasiu, Journ. de l'anat. et de la phys. 37, 1901. Köster, Über den Ursprung des nervus depressor. Gemeinschaftlich mit Tschermak. Neurologisches Zentralbl. Bd. 20, 1901.

Ergebnisse: Nach früheren Untersuchungen entspringt der Depressor aus dem nervus laryngeus superior, aus dem Vagusstamm oder aus beiden zugleich. Nach den Untersuchungen von Schumacher ist der doppelte Ursprung jedoch seltener als der einfachere aus den oberen Kehlkopfnerven. Sicher ist, daß der Depressor nicht gesondert, sondern mit den nervi cardiaci inferiores des tractus sympathicus verbunden zum Herzen zieht, oder in das untere Halsganglion eingeht. Nach Bezold sind die nervi card. infer. die beschleunigenden Herznerven. Sch. weist in den meisten Fällen, wo ein gemeinsamer Depressor accel. existiert, die Verbreitung dieser Nerven auf der Aorta und den Kammern und Vorhöfen, nach.

Hund und Katze S. 169—183. Literatur S. 169—174.

Ergebnisse: Meist entspringt der Depressor mit einer Wurzel vom Vagusstamm oder laryngeus superior oder mit je einer Wurzel aus diesen beiden, senkt sich bald in die gemeinsame Vago-sympathicus-Scheide. Bei der Katze mit getrenntem Verlauf dieser beiden Nerven geht unter Umständen der Depressor gesondert zur Wand des Aortenbogens. Innerhalb der gemeinsamen Nervenscheide ist eine Trennung manchmal nicht mehr möglich. Zu beachten ist, daß Wooldridge in Fig. 4 einen Aortennerven, dessen Reizung Pulszahl und Blutdruck herabgesetzt hat, abbildet. Verlauf der Kammernerven, accelerantes S. 181/183 dargestellt. Figuren vom Löwen, der Katze und dem Hund, s. Fig. 8, 9. 10. Sch. macht wiederholt darauf aufmerksam, daß die rami cardiaci für die linke Herzseite von links stammen und analog für die rechte Herzseite."

Im folgenden sind nur berücksichtigt das Kaninchen, die Katze und der Hund. Im allgemeinen zweigt der Depressor ab von dem Vagus oder von dem laryngeus superior (am häufigsten), oder von beiden Nervenstämmen. Er läuft dann am Hals herab, und senkt sich in das untere Halsganglion bzw. die gemeinsame Scheide des Vagus und Sympathicus, oder verbindet sich direkt mit den nervi cardiaci inferiores des Sympathicus. An diesen Verbindungsstellen ist der Depressor von den Accelerantes nicht zu trennen. (S. Tschermak u. Köster 1902.) Er löst sich dann aber meist in besonderen Bahnen, die zur Wurzel der Aorta ziehen, von den Accele-

rantes bzw. dem plexus cardiacus los. Die Auffindung dieses Nerven hat sich stets auf das physiologische Verhalten zu gründen.

Die ausführlichste Beschreibung seines Verlaufs bei dem Kaninchen haben seine Entdecker Cyon und Ludwig (1866) gegeben:

S. 308. „Obwohl der Nervus depressor am lebenden Kaninchen leicht aufzufinden ist, so wollen wir doch, um jeder Verwechslung vorzubeugen, die anatomische Beschreibung seines Ursprungs und Verlaufs nicht unterlassen, und beides durch eine Abbildung versinnbilden. Fig. 1 läßt erkennen, daß der Nervus depressor mit zwei Wurzeln entspringt, die eine derselben geht aus dem Stamme des Nervus vagus selbst, die zweite aus einem seiner Äste, dem Nervus laryngeus superior hervor. Statt eines doppelten Ursprungs hat er öfter auch nur einen einzigen, der dann gewöhnlich aus dem Nervus laryngeus erfolgt. Nachdem der Nerv selbständig geworden, wendet er sich zur Arteria Carotis und legt sich dort in unmittelbarer Nähe des Nervus sympathicus, neben dem er, aber fortwährend von ihm getrennt, bis in die Nähe der oberen Öffnung des Brustkastens hingeht. In vielen — mehr als 40 — Kaninchen haben wir nur einmal eine Ausnahme von dem bis dahin beschriebenen Verhalten gesehen. Sie bestand darin, daß der Nerv in der Mitte des Halses noch einmal zum Stamm des Nervus Vagus einlenkte und die Scheide desselben überging.

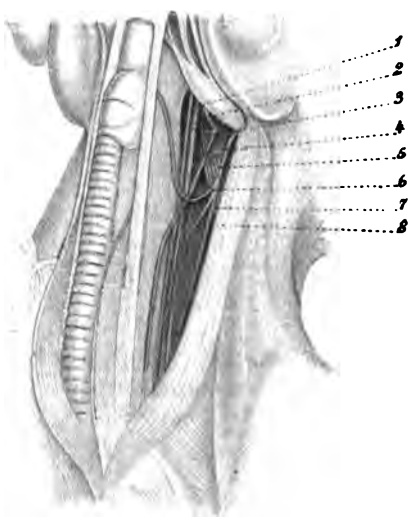


Fig. 16.
Die Halsnerven des Kaninchens, nach Ludwig und Cyon. 1, N. sympathicus; 2, N. hypoglossus; 3, R. descendens hypoglossi; 4, R. e plexo cervicali; 5, N. vagus; 6, N. laryngeus sup.; 7, Radix prima und 8, Radix secunda N. depressoris. (Aus: Tigerstedt, Lehrbuch der Physiologie.)

Beim Übergang unseres Nerven in die Brusthöhle wird sein Verlauf verwickelter, da er von nun an eine Verbindung mit den Nervenzweigen eingeht, welche aus dem ganglion stellatum hervortreten. Die anatomischen Verhältnisse dieser Partie sind in Figur 2 dargestellt, welche einer früheren Publikation entnommen ist. Das, was die Zergliederung mit dem Messer erkennen läßt, ist in dieser Zeichnung deutlich angegeben. Wir brauchen darum zu ihr nur hinzuzufügen, daß die Stränge, welche aus den Ästen des ganglion stellatum und dem Nervus depressor bestehen, schließlich zwischen dem Ursprunge der art. aorta und der art. pulmonalis sich in Ästchen auflösen, die sich in dem festen Bindegewebe der Verfolgung mit dem bloßen Auge entziehen. Eine mikroskopische Durchforschung des weiteren Verlaufs überlassen wir der Zukunft.“

Von Besonderheiten über den Verlauf des Depressor möchte ich erwähnen, daß Hering (1894) gefunden hat, daß beim Kaninchen der rechte Depressor anormal zentrifugale hemmende Fasern enthielt. Er verlief im übrigen wie gewöhnlich und entsprang aus zwei Wurzeln. Eine Übersicht

über die verschiedenen Ursprungsarten des Depressors findet sich in der Arbeit von Tschirwinsky (1896). Winkler (1903) will bei der Reizung des Depressors vor dem Sinken des Aortendrucks eine Druckabnahme im linken Vorhof festgestellt haben.

Die Aufzweigungen des Depressors in der Herzwand sind zunächst von Wooldridge (1883), dann besonders von Köster und Tschermak (1902) untersucht worden. Die letzteren haben ermittelt, daß der Depressor nicht

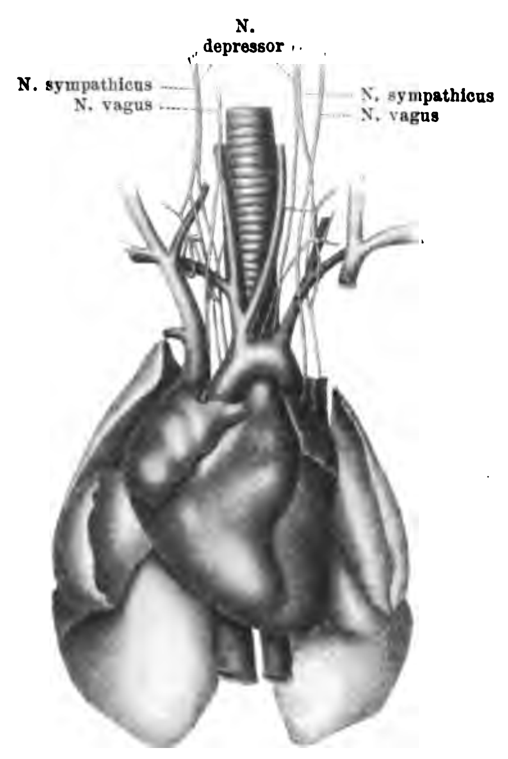


Fig. 17.
Herznerven, insbesondere N. Depressor nach Cyon und Ludwig.

ein Reflexnerv des Herzens ist, wie Ludwig und seine Schüler gemeint haben, sondern des Aortenbogens.

Die Verbindung des Depressors mit dem Zentrum ist bis jetzt noch strittig, vor allen Dingen ist fraglich, ob ein vasodilatatorisches Zentrum existiert. Hierüber rühren die eingehendsten Untersuchungen von Bayliss (besonders 1893) her. Das eine ist sicher, daß der Depressor der einzige zentripetale Nerv ist, dessen Reiz nur einen dilatatorischen Effekt hat.

Bayliss 1893. On the physiology of the depressor nerve. Journ. of physol. XIV, p. 303.
Cyon und Ludwig 1866. Die Reflexe eines der sensiblen Nerven des Herzens auf die motorischen der Blutgefäße. Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. Oktober.
François Franck 1880. Trav. du labor. de Marey IV, p. 378.

Goltz 1862. Vagus und Herz. Arch. f. pathol. Anatomie u. Physiol. XXVI, S. 1.

Hering 1894. Anomales Vorkommen von Herzhemmungsfasern im rechten N. depressor eines Kaninchens. Pflügers Arch. LVII, S. 77.

Köster und Tschermak 1902. Über den Nervus depressor als Reflexnerv der Aorta. (Physiol. Institut Halle.) Pflügers Arch. 93, S. 24.

v. Schumacher 1901. Die Herznerven der Säugetiere und des Menschen. Sitzungsber. d. österr. Akad. math.-naturw. Kl. 111, S. 133.

Tschirwinsky 1896. Untersuchungen über den Nervus depressor in anatomischer, physiologischer und pharmakologischer Hinsicht. Zentralbl. f. Physiol. IX, S. 777.

Winkler 1903. Über das Verhalten des Druckes im linken Vorhofe bei Reizung des Nervus depressor. Zentralbl. f. Physiol. 17, S. 38.

Wooldridge 1883. Über die Funktion des Kammernerven des Säugetierherzens (Physiol. Institut Leipzig.) Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 522.

Handbuch
der
physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Kiel; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** München; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Giessen; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Prag; **R. Magnus,** Utrecht; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Rostock; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Bonn; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenck,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Innsbruck; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt

Zweiter Band

Abteilung 5

Blut und Blutbewegung III

Mit 3 farbigen Tafeln und 75 Textfiguren

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1912

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Dieses Blatt ist beim Einbinden des vollständigen Bandes zu entfernen.

5. Abteilung:

Blut und Blutbewegung III.

Zählung und Differenzierung der körperlichen Elemente des Blutes.

Von

K. Bürker in Tübingen.

Mit 3 farbigen Tafeln und 75 Textfiguren.

I. Einleitung.

Von den körperlichen Elementen des Blutes kommen für die Zählung und Differenzierung im wesentlichen die roten Blutkörperchen, die weißen Blutkörperchen und die Blutplättchen in Betracht. Zwar hat man im Blute auch noch weitere körperliche Bestandteile, die Blutstäubchen, Hämokonien, nachweisen und diese neuerdings mit Hilfe des Ultramikroskopes und des Spiegelkondensors im Dunkelfelde genauer untersuchen können, aber abgesehen davon, daß diese Elemente mit der Fettresorption in Beziehung stehen, also wahrscheinlich feinste Fetttröpfchen darstellen, hat sich bis jetzt nichts ergeben, was ein genaueres Eingehen auf diese Bestandteile rechtfertigen würde. Der Annahme einiger Autoren, daß ein Teil dieser Hämokonien aus abgestoßenen Leukozytengranula besteht, hält O. Naegeli entgegen, daß sie teilweise Kernfarbstoffe aufnehmen, was eher für Kernreste sprechen würde.[1])

Die roten Blutkörperchen, Erythrozyten, ontogenetisch älter als die Leukozyten, können im Blute als reife und unreife Formen auftreten. Die reifen Formen, kernlos beim Menschen und den Säugetieren, kernhaltig bei allen übrigen Wirbeltieren, werden in ein und demselben Blut je nach ihrer Größe in Normozyten, Mikrozyten und Makrozyten unterschieden, die unreifen Formen in Normoblasten und in die ontogenetisch älteren Megalo- oder Gigantoblasten. Unter besonderen Umständen erscheinen im Blute auch noch abnorm große Erythrozyten, die Megalozyten, und sehr wechselnde Formen, die Poikilozyten. Megalozyten (nicht zu ver-

---

[1]) Über Hämokonien siehe O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1, S. 351 und die dort mit * markierte Litteratur.

Zur Färbung der Fetttröpfchen des Blutes benutzt O. Naegeli (a. a. O. S. 32) eine Lösung von Sudan III in absolutem Alkohol, bringt einen Tropfen davon auf einen Objektträger und läßt den Alkohol verdunsten. Sodann verreibt er den Rückstand gleichmäßig, bringt auf den so vorbereiteten Objektträger einen Tropfen frischen Blutes und bedeckt mit einem Deckgläschen. Es tritt rasch Rotfärbung der Fetttröpfchen ein.

wechseln mit Makrozyten) sind z. B. Erythrozyten des Embryo, auch beim Erwachsenen kann ein Rückschlag in die embryonale Blutbildung eintreten und als Ausdruck derselben das Blut Megalozyten enthalten. Poikilozyten, die durch Abschnürung von Erythrozyten entstehen sollen, daher von P. Ehrlich auch Schistozyten genannt, kommen nach Erhitzung des Blutes und bei schweren Krankheiten vor. Die roten Blutkörperchen können sich aber, abgesehen von ihrer Größe und Gestalt, auch noch durch ihre Tinktionsverhältnisse voneinander unterscheiden, statt Isochromie kann Anisochromie und Polychromasie, auch Polychromatophilie genannt, bestehen. Bei Anisochromie ist je nach dem Hämoglobingehalt die Färbung der Erythrozyten verschieden stark, bei Polychromasie bevorzugt das Körperchen nicht, wie gewöhnlich, den sauren Farbstoff, z. B. Eosin, Orthochromasie, sondern auch den basischen, z. B. Methylenblau. Von weiteren basophilen Substanzen können die roten Blutkörperchen Kernreste, Howell-Jollysche Körper, Cabot-Schleipsche Ringkörper und feinste basophile Körnchen, basophile Punktierung, enthalten.

Auch bei den weißen Blutkörperchen, Leukozyten, sind die reifen Formen von den unreifen zu trennen. Als reife Formen haben die gewöhnlichen Lymphozyten zu gelten, welche, je nachdem sie wenigstens beim Menschen kleiner oder größer als Erythrozyten sind, kleine oder große Lymphozyten genannt werden, ferner die großen mononukleären Leukozyten und Übergangsformen, die polymorphkernigen neutrophilen, die azido- oder eosinophilen und die basophilen Leukozyten, letztere auch Mastzellen genannt. Unreife Formen sind die bei lymphatischen Wucherungen ins Blut übertretenden Lymphoblasten, besonders große Lymphozyten mit häufig abnorm gelappten Kernen, die dann Riederformen heißen, ferner die neutrophilen, die azido- oder eosinophilen, die basophilen oder Mastmyelozyten und die Stammform all dieser granulierten Myelozyten, der ungranulierte Myeloblast. Neben den typischen granulierten Myelozyten und Leukozyten können bei ungenügender Ausbildung derselben vereinzelte atypische Formen vorkommen, indem die neutrophilen und eosinophilen Elemente neben ihrer spezifischen reifen Granulation auch eine noch unreife basophile Granulation enthalten können. In selteneren Fällen treten im Blute bei Affektionen des lymphatischen Systems die in den Geweben, besonders in der Submucosa des Darms, häufigen, den Lymphozyten verwandten Plasmazellen auf, ferner die sogenannten Türkschen Reizungsformen als pathologische Myeloblasten und schließlich die Knochenmarksriesenzellen, Megakaryozyten, sofern diese bei ihrer relativ gewaltigen Größe überhaupt die Kapillaren passieren können. Bei manchen Tieren kommen in bestimmten Leukozyten des Blutes und der blutbereitenden Organe neben den genannten Allgemeingranula auch noch Spezialgranula vor, so pseudo-eosinophile Granula beim Kaninchen, stäbchenförmige eosinophile Gebilde bei den Vögeln.

Die Blutplättchen, Thrombozyten, die allerempfindlichsten körperlichen Elemente des Blutes, zeigen zwar in bezug auf ihre Größe beträchtliche Unterschiede, eine Unterscheidung nach Arten ist aber in ein und demselben Blute bis jetzt noch nicht vorgenommen worden. Bei den Wirbeltieren außer den Säugetieren gelten spindelförmige kernhaltige Zellen als

Thrombozyten, auch bei den Wirbellosen hat man Blutzellen von Thrombozytencharakter nachweisen können.[1])

Bei der großen Bedeutung, welche die Unterscheidung der Erythro- und Leukozyten nach Arten für die Hämatologie gewonnen hat, muß auch die Zählung dieser Elemente eine Differentialzählung sein oder doch sein können, woraus sich folgende Einteilung für das hier zu behandelnde Thema ergibt:

Nach diesem einleitenden Abschnitt I soll ein zweiter

II die Gewinnung des Blutes zur Zählung und Differenzierung seiner körperlichen Elemente,

ein dritter

III die Zählung der Erythrozyten

A. ohne Rücksicht auf die Art,

B. mit Rücksicht auf dieselbe,

ein vierter

IV die Zählung der Leukozyten

A. ohne Rücksicht auf die Art,

B. mit Rücksicht auf dieselbe,

ein fünfter

V die Zählung der Thrombozyten behandeln.

In einem VI. Abschnitt sollen die Resultate der bisherigen Zählungen und Differenzierungen in einer Reihe von Leitsätzen kurz zusammengefaßt und in einem VII. Abschnitt die einschlägige Literatur chronologisch zusammengestellt werden.

---

1) Über Morphologie der körperlichen Elemente des menschlichen Blutes siehe P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1879, 1 und 1880, 2, G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1889, 1, P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6, H. Rieder, Lit.-Verzeichnis 1893, 5, R. v. Limbeck, Lit.-Verzeichnis 1896, 1, P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, F. Bezançon et M. Labbé, Lit.-Verzeichnis 1904, 6, A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1905, 1, K. Schleip, Lit.-Verzeichnis 1907, 2, E. Meyer und H. Rieder, Lit.-Verzeichnis 1907, 3, C. S. Engel, Lit.-Verzeichnis 1908, 1, A. Lazarus und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1909, 1, K. v. Müllern, Lit.-Verzeichnis 1909, 5, E. Grawitz, Lit.-Verzeichnis 1911, 1, W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1912, 2, und insbesondere O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1; in letzterem Buche ist die Literatur am eingehendsten berücksichtigt.

Über Morphologie der körperlichen Elemente des Blutes und der blutbereitenden Organe der weißen Maus, der Ratte, des Meerschweinchens, des Kaninchens, der Katze, des Hundes, des Igels, des Affen, des Schafes, des Huhnes, der Taube und des Frosches siehe C. Klieneberger und W. Carl, Lit.-Verzeichnis 1912, 3. Über vergleichende Morphologie der Leukozyten und verwandten Zellformen siehe F. Weidenreich Lit.-Verzeichnis 1911, 7. Über vergleichende Morphologie der Leukozyten speziell im Blute der Ziege, des Rindes, des Schweines, des Kaninchens, des Meerschweinchens, des Pferdes, der weißen Maus, des Hundes und der Katze siehe H. Hirschfeld, Lit.-Verzeichnis 1897, 6. Über die Morphologie der Blutkörperchen bei wirbellosen Tieren siehe P. Knoll, Lit.-Verzeichnis 1893, 3 und O. v. Fürth, Lit.-Verzeichnis 1903, 4.

Über Morphologie der Thrombozyten, Vergleichend-Anatomisches und Historisches geben die auf S. 134, Anm. 2 zitierten Arbeiten genauere Auskunft.

Über die blutbereitenden Organe siehe J. Seemann, Lit.-Verzeichnis 1904, 18 und K. Helly, Lit.-Verzeichnis 1906, 5.

Historisches und Vergleichend-Anatomisches über die körperlichen Elemente des Blutes (ältere Angaben) siehe bei H. Milne-Edwards, Lit.-Verzeichnis 1857, 1.

Beim Hinweis auf dieses Literaturverzeichnis wird zunächst der Name des Autors, darauf die Jahreszahl mit Nummern 1, 2, 3 usw. und Teilnummern a, b, c usw., unter welchen die Arbeit in dem betreffenden Jahrgange zu finden ist, ferner eventuell auch die Seitenzahl der betreffenden Arbeit angegeben. Die Zahlen 5, 10, 15 usw. an der linken Seite des Verzeichnisses dienen zur Gesamtnumerierung ohne Rücksicht auf den Jahrgang. Die mit [0]) bezeichnete Literatur konnte Verfasser nicht selbst einsehen. Alle andern, die Zählung der körperlichen Elemente nicht direkt betreffenden Literaturangaben werden an Ort und Stelle des Textes in Fußnoten gemacht.

II. Gewinnung des Blutes zur Zählung und Differenzierung seiner körperlichen Elemente.

Über die Art der Gewinnung des Blutes bei quantitativen Bestimmungen hat sich Verfasser in einem weiteren Beitrage zu diesem Handbuch „Gewinnung, qualitative und quantitative Bestimmung des Hämoglobins" (Bd. 2, Abt. 1, S. 75) eingehend verbreitet, so daß auf das dort Mitgeteilte verwiesen werden kann. Es seien hier nur noch einige ergänzende Bemerkungen beigefügt.

Was zunächst die Wahl des Ortes der Blutentziehung beim Menschen betrifft, so hat sich Verfasser unterdessen bei vergleichenden, mit einem mittleren Bestimmungsfehler von nur etwa 1% behafteten Versuchen[1]) ergeben, daß bei derselben Versuchsperson die Zusammensetzung des aus der Fingerkuppe und dem Ohrläppchen entzogenen Blutes wenigstens in bezug auf den Hämoglobin- und Erythrozytengehalt die gleiche ist. Auch das aus den Venen der Ellenbogenbeuge entnommene Blut unterschied sich, sofern es zur Zeit der Entziehung in der Vene nur möglichst frei floß, nicht von dem aus Fingerkuppe und Ohrläppchen entzogenen Blut.

Da es nicht immer möglich ist, an der Venenkanüle selbst die Abmessung des Blutes zur quantitativen Bestimmung vorzunehmen, so empfiehlt es sich, das tropfenweise ausfließende Blut auf einem geglätteten Stück festen Paraffins aufzufangen und von hier aus sofort die Abmessung zu besorgen.

Genaue Angaben über die Wahl des Ortes der Blutentziehung bei Tieren, und zwar bei der weißen Maus, der Ratte, dem Meerschweinchen, dem Kaninchen, der Katze, dem Hunde, dem Igel, dem Affen, dem Schaf, dem Huhn, der Taube und dem Frosch haben unterdessen C. Klieneberger und W. Carl gemacht.[2]) Beim Kaninchen haben J. Cohnstein und N. Zuntz[3]) das Blut aus der Ohrvene entzogen, das Ohr umgefaltet, bis die Vene verschlossen war, und es durch eine nicht zu stark federnde Klammer in dieser Lage erhalten. Sollte wieder Blut entzogen werden, so wurde die Klammer beseitigt und das Ohr aufgerichtet; auf diese Weise konnte auch noch am nächsten Tage nach Entfernung des Gerinnsels Blut aus derselben Wunde gewonnen werden. Bei Schlachttieren hat A. Storch[4])

1) Noch nicht veröffentlicht.
2) C. Klieneberger und W. Carl, Lit.-Verzeichnis 1912, 3.
3) J. Cohnstein und N. Zuntz, Lit.-Verzeichnis 1888, 1, S. 311, Anm. 1.
4) A. Storch, Lit.-Verzeichnis 1901, 2, S. 22.

vom kaudalen Ohrmuschelrande nahe der Apex conchae mit der Cooperschen Schere einen ca. 15 mm langen und 2 mm breiten Streifen abgetragen und das auf die Wundfläche austretende Blut entweder direkt benutzt oder bei Unruhe des Tieres das auf der Schnittfläche angesammelte Blut durch Senken der Ohrmuschel in die sorgfältig gereinigte und getrocknete Höhlung der linken Hand fallen lassen. An Stelle der Hand könnte auch hier geglättetes festes Paraffin treten.

Steht die Wahl des Versuchsobjektes frei, so wird man am besten im Blute des Menschen die Zählungen und Differenzierungen vornehmen, denn so einwandsfrei wie bei diesem läßt sich das Blut bei Tieren nicht entziehen, auch sind die individuellen Schwankungen im Blutkörperchengehalte bei Tieren viel größer als beim Menschen.[1])

Was die geeignetste Zeit für die Blutentziehung betrifft, so hat sich Verfasser[2]) in größeren Versuchsreihen sehr gut der frühe Morgen bewährt, noch bevor die Versuchsperson irgend etwas genossen hat; die durch die Nahrungsaufnahme bedingte, allerdings nur geringe Alteration des Blutes wird dadurch ganz ausgeschaltet. Auch die Zeit von 11—12 Uhr ist geeignet, wenn etwa zwischen 7 und 8 Uhr ein mäßiges Frühstück eingenommen wurde. Stets muß aber dafür Sorge getragen werden, daß die Temperatur des Raumes, in welchem die Blutentziehung vorgenommen wird, nicht unter 17° C sinkt.

Bezüglich innerer und äußerer Einflüsse, welche die Zusammensetzung des Blutes modifizieren könnten, sei auf die erwähnten Ausführungen des Verfassers (Bd. 2, Abt. 1, S. 83 dieses Handbuches) verwiesen.

Von Instrumenten zur Blutentziehung sei noch die Nadel von J. Ries[3]) erwähnt (Fig. 1); sie ist ähnlich wie die früher beschriebene Franckesche[4]) Nadel konstruiert, nur ist die Nadel selbst auswechselbar und das Instrument mit einem Raum für Reservenadeln versehen.

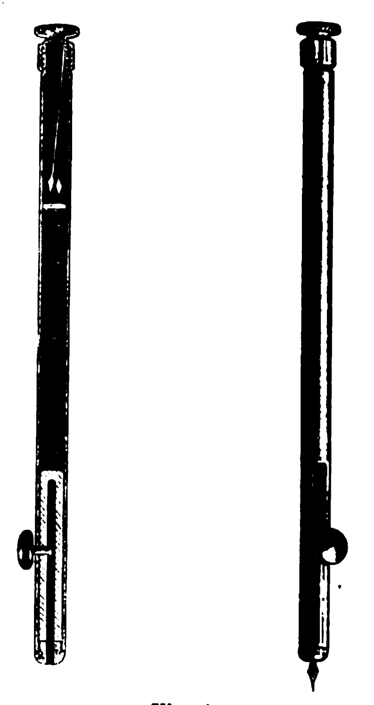


Fig. 1.
Nadel zur Blutentnahme nach J. Ries.

In einem Metallröhrchen gleitet ein Bolzen, in welchem eine Lanzette oder Nadel mit Hilfe einer Schraube in beliebiger Stellung befestigt wird. Durch Zug an der Schraube wird der Bolzen samt Nadel unter Spannung der Feder zurückgeschoben und durch seitliche Bewegung arretiert. Wird der Bolzen durch Druck gegen die Schraube wieder befreit, so schnellt er samt Nadel vor und erzeugt einen Stich von bestimmter Tiefe.[5])

1) Siehe auch J. G. Otto, Lit.-Verzeichnis 1885, 1, S. 56.
2) K. Bürker, E. Jooss, E. Moll und E. Neumann, Lit.-Verzeichnis 1911, 4.
3) J. Ries, Lit.-Verzeichnis 1904, 5.
4) Siehe Bd. 2, Abt. 1, S. 77 dieses Handbuches.
5) Zu beziehen vom Sanitätsgeschäft M. Schärer, A.-G., Bern.

Vermeidet man bei der Blutentziehung alles, was die Freiheit der Blutzirkulation sowohl in dem Körperteile, aus welchem das Blut entzogen werden soll, als auch in allen andern Körperteilen stört, verwirft man den ersten austretenden Tropfen und benutzt rationell hergestellte Pipetten, so kommen bei quantitativen Versuchen, abgesehen von Thrombozytenzählungen, die Fehler, welche bei der Blutentziehung, Blutabmessung und Blutverdünnung gemacht werden, gar nicht in Betracht gegenüber den Fehlern, welche einer Zählung und Differenzierung selbst anhaften.[1])

III. Zählung und Differenzierung der Erythrozyten.[2])

Die Zählung der Erythrozyten kann ohne und mit Rücksicht auf die Art vorgenommen werden.

A. Zählung der Erythrozyten ohne Rücksicht auf die Art.[3])

Es ist das große Verdienst K. Vierordts, zuerst eine brauchbare Methode zur Zählung der roten Blutkörperchen angegeben zu haben.

1. Die Methode von K. Vierordt (1852).[4])

Das Prinzip der Methode ist folgendes.

Eine sehr feine, nur etwa 0,1—0,2 mm weite, und möglichst dünnwandige Kapillare, welche auf eine Strecke von 5—8 mm genau gleich weit und kalibriert war, wurde in Blut (das zweite austretende Tröpfchen) von nicht zu dicker Schichte eingetaucht. Die Länge der durch Kapillarität eingedrungenen Blutsäule wurde mit Hilfe des Mikroskopes unter Berücksichtigung der Menisci bei bekannter Zimmertemperatur genau bestimmt, wodurch die verwendete Blutmenge ermittelt wurde. Diese Blutmenge wurde nun möglichst vollständig, ohne Luftblasen zu erzeugen, in ein auf einem Objektträger befindliches Menstruum entleert, das Blut in diesem mit einem sehr spitz ausgezogenen Glasstäbchen verteilt, die Mischung in Form eines langen, nur 1—3 Sehfelder breiten und möglichst dünnen Streifens

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 353.

2) Um eine möglichst eingehende und doch umfassende Darstellung der Methoden der Erythro- und Leukozytenzählung geben zu können, hat Verfasser im Jahre 1905 an alle in- und ausländischen physiologischen Institute bzw. Hauptlehrstellen, deren es nach der „Minerva“ (Jahrbuch der gelehrten Welt) damals 202 gab, Fragebogen herumgeschickt mit der Bitte, sie ausgefüllt wieder zurückzusenden. Von diesen 202 Fragebogen kamen überhaupt nur 25 (darunter 13 von deutschen Instituten), im ganzen also 12 %, zurück, 14 von den 25 Antwortenden verfügten nicht über spezielle Erfahrungen, so daß nur von 11, also von 5 %, die gewünschte Auskunft erhalten werden konnte. Man darf also nicht allzuviel von einer derartigen Umfrage erwarten.

3) Zusammenfassende Darstellungen geben L. C. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1873, 1, S. 7, G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1875, 2, S. 292, A. Rollett, Lit.-Verzeichnis 1880, 1, E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 1.

4) K. Vierordt, Lit.-Verzeichnis 1852, 1.

ausgezogen, worauf nach dem Trocknen sämtliche in der „Blutkörperchenkarte“ gelegenen roten Blutkörperchen gezählt wurden.

Als Menstruum wurde zuerst eine schwache wäßrige Lösung von Eiereiweiß, später von arabischem Gummi, dann wieder von Eiweiß benutzt, in dem nach dem Austrocknen die Blutkörperchen „wie in einer Sternkarte verteilt“ und noch nach vielen Tagen ganz deutlich zu erkennen waren. Die Auszählung des Streifens erleichterte ein Glasmikrometer (1 Quadratlinie in 900 gleiche Quadrate geteilt, später modifiziert), das auf den Streifen aufgelegt wurde. Um die immerhin noch großen Quadrate in kleinere zerlegen zu können, wurde auch noch ein Netzmikrometer ins Okular eingefügt. Unter Berücksichtigung des verwendeten Blutquantums ließ sich dann leicht die Blutkörperchenzahl in 1 cmm Blut berechnen.

Später hat Vierordt[1]) die Methode noch in einigen Punkten verbessert.

Wie mühsam diese Art der Zählung war, geht aus der Bemerkung von Vierordt[2]) hervor, er hoffe, wenigstens in der guten Jahreszeit, in der er ausschließlich beim Tageslicht arbeiten könne, wöchentlich eine derartige Zählung vornehmen zu können. Vom 6. Oktober 1851 bis zum 7. März 1852 hat Vierordt neun Zählungen an seinem eigenen Blute angestellt (ebenda S. 331). Da diese Zählungen ein historisches Interesse verdienen, so seien ihre Ergebnisse, etwas abgekürzt, hier mitgeteilt. Verwendet wurden Blutvolumina von 0,001600 bis 0,007167 cmm und gezählt wurden jeweils 9310 bis 37962 Blutkörperchen.

Zeit der Blutentnahme	Anzahl der Blutkörperchen in 1 cmm Blut
6. Oktober 1851	5,01 Millionen
18. „ „	5,36 „
9. November „	5,12 „
18. „ „	5,16 „
29. Dezember „	5,30 „
6. Januar 1852	5,27 „
18. „ „	4,94 „
28. Februar „	5,82 „
7. März „	4,60 „
	Im Mittel 5,17 Millionen.

Gegen diese Vierordtsche Methode hat A. Schmidt[3]) die Einwände erhoben, daß

1. während des Ausbreitens des Blutes vor dem Aufsaugen in die Kapillare Wasserverdunstung stattfindet,

2. die an den Wänden der Kapillare zurückbleibende Blutschicht nicht mitgemessen wird,

3. die Messung der Blutsäulenlänge bei der Hast, mit der all diese Operationen vorgenommen werden müssen, unmöglich mit hinlänglicher Schärfe ausgeführt werden kann,

4. das Volumen der Menisci nicht richtig berechnet sei.

1) Vierordt, Lit.-Verzeichnis 1852, 2, S. 327.
2) K. Vierordt, Lit.-Verzeichnis 1852, 2, S. 330.
3) Schmidt, Lit.-Verzeichnis 1852, 4, S. 294.

Eine weitere Kritik hat Funke[1]) geübt.

Später hat Vierordt[2]) viel größere Volumina Blut, 10 cmm, mit einer besonderen Pipette[3]) abgemessen, ca. 130-fach mit Gummilösung verdünnt, 1 1/2 bis 2 Minuten gemischt, ein bestimmtes Teilvolumen dieser Blutmischung zu einem Streifen ausgezogen, getrocknet und nur in diesem Volumen gezählt. Immerhin nahm aber die Zählung noch 2 bis 6 Stunden in Anspruch. Für klinische Zwecke wurde eine 3000- bis 4000-fache Verdünnung vorgenommen, worauf die Zählung nur noch 1/4 Stunde dauerte.[4])

Nach der genaueren Methode gezählt ergab sich Vierordt ein mittlerer Fehler von etwa 2 %. E. Reinert[5]) hat den mittleren Fehler jeder einzelnen Zählung zu 2,4, den wahrscheinlichen Fehler zu 1,6 % berechnet; bei eigenen Versuchen nach dieser Methode, wobei durchschnittlich 2173 Zellen gezählt wurden, fand Reinert den wahrscheinlichen Fehler zu 3,9 %.

2. Die Methode von H. Welcker (1854).[6])

Ähnlich wie zuletzt Vierordt verfuhr auch Welcker; er verdünnte Blut 1500-fach mit Kochsalzlösung und nahm dann in einem Teilvolumen nach Verdunstung der Verdünnungsflüssigkeit die Zählung vor.

In eine Wasserflasche, deren Hals die genaue Marke für 1500 ccm trug, wurde bis zu dieser Marke Kochsalzlösung (0,6 %-ig) gefüllt. Dann wurde mit der in Figur 2 abgebildeten Pipette, welche von der Spitze b bis zur Marke cd 1 ccm aufnahm, das Blut abgemessen und zur Salzlösung hinzugefügt. Nach mehrfachem Umschütteln wurde mit einer anderen Pipette 1 bis 1,6 cmm Blutmischung entnommen und durch langsames Ausblasen auf ein Deckgläschen entleert. Dem Entleerten wurde etwas Gummischleim zugemischt und das Ganze zu einem kreuzergroßen Flecken zusammengerührt, nach dessen Auftrocknen das Gläschen zur Auszählung mit der Präparatseite auf ein Zahlenmikrometer[7]) geheftet wurde. Noch nach 1 1/2 Jahren erwiesen sich derartige Zählpräparate als brauchbar.

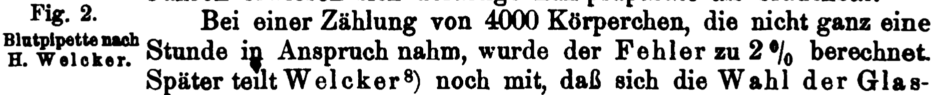


Fig. 2. Blutpipette nach H. Welcker.

Bei einer Zählung von 4000 Körperchen, die nicht ganz eine Stunde in Anspruch nahm, wurde der Fehler zu 2 % berechnet. Später teilt Welcker[8]) noch mit, daß sich die Wahl der Glas-

1) Funke, Lit.-Verzeichnis 1853, 1.

2) K. Vierordt, Lit.-Verzeichnis 1852, 3, S. 858.

3) Die Pipette erweiterte sich von der Spitze an, verengte sich dann und war an der Stelle der Verengerung knieförmig abgebogen, um schließlich wieder weit zu werden. Bis zur knieförmigen Biegung wurde Blut eingesaugt.

4) K. Vierordt, Lit.-Verzeichnis 1854, 1, S. 279.

5) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 51.

6) H. Welcker, Lit.-Verzeichnis 1854, 2, S. 21 und 1854, 3.

7) H. Welcker, Zahlenmikrometer, eine neue Form der auf Glas geteilten Gitter. Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 130, S. 267, 1853, wo das Mikrometer auf Taf. 4. Fig. 22 abgebildet ist.

8) H. Welcker, Lit.-Verzeichnis 1863, 1, S. 283.

kapillare, mittelst welcher das zu durchzählende Volumen aus der Blutsalzwassermischung entnommen wurde, nach der Größe der Blutkörperchen richtete, denn ein Mißverhältnis zwischen dem Kaliber der Kapillare und dem Durchmesser der Körperchen würde zu den übelsten Folgen führen.

Bei einer Prüfung dieser Methode, bei der jeweils im Mittel 4822 Zellen gezählt wurden, fand E. Reinert[1]) den mittleren Fehler zu 1,9, den wahrscheinlichen zu 1,3 %.

Gegen die bisher mitgeteilten Methoden muß eingewendet werden, daß durch die notwendige Austrocknung der Blutmischung die Zählung verzögert wird und daß sie selbst umständlich und zeitraubend ist.

Diese Umstände waren auch für A. Cramer Veranlassung, eine neue Methode auszuarbeiten.

3. Die Methode von A. Cramer (1855).[2])

Eine bestimmte Menge Verdünnungsflüssigkeit wird mit einer bestimmten Menge Blut versetzt, ein Zählraum durch Kapillarität mit der Blutmischung gefüllt und dann die Zahl der Blutkörperchen in einem abgegrenzten Volumen derselben ermittelt.

Der Zählapparat ist zum Teil in Figur 3 abgebildet; er besteht aus einer Pipette zur Abmessung der Verdünnungsflüssigkeit (III), einem weithalsigen Fläschchen mit Stöpsel zur Aufnahme und

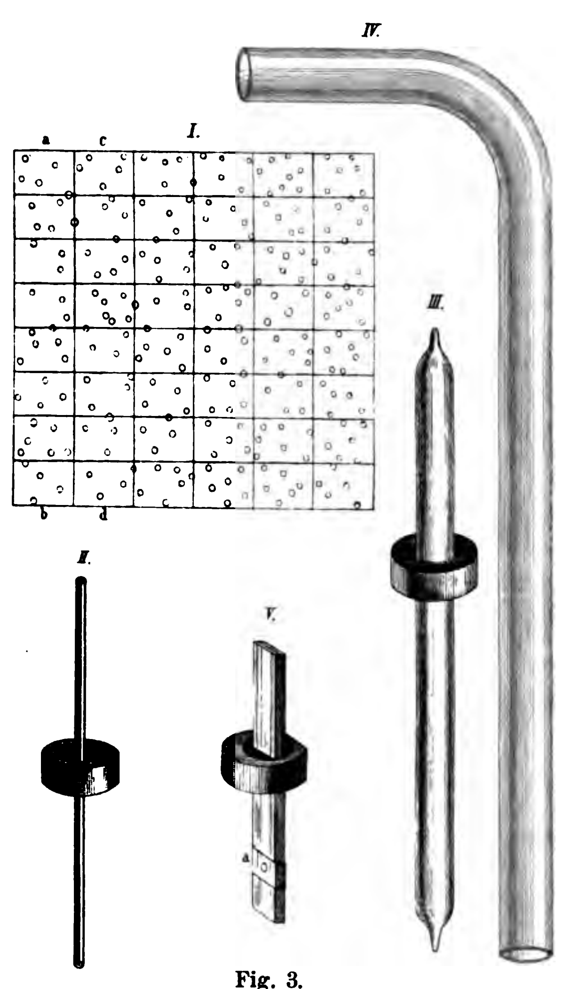


Fig. 3.
Zählapparat nach A. Cramer. (ca. ½ nat. Größe.)

1) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 52.
2) A. Cramer, Lit.-Verzeichnis 1855, 1.
Ich verdanke den betreffenden Band des Nederlandsch lancet den Bemühungen der Herrn Kollegen R. Magnus und H. Zwaardemaker in Utrecht, die Übersetzung Frau Dr. Krais-Tübingen, der Enkelin F. C. Donders, der Tochter Th. W. Engelmanns. Donders widmet dem früh verstorbenen Cramer im Anschluß an dessen Arbeit einen warm empfundenen Nachruf. K. Bürker.

Mischung von Verdünnungsflüssigkeit und Blut (nicht abgebildet), einer Kapillare zur Abmessung des Blutes von 0,45 mm Lumen (II), einer größeren gebogenen Glasröhre (IV), mit deren Hilfe die Pipette, Kapillare und der Zählraum gefüllt wird, der eigentlichen Kammer (V) und einer Netzteilung (I) im Okular des Mikroskops, welche 0,172225 qmm umfaßte. Pipette, Kapillare und Kammer sind mit einem Holzring umgeben, der es ermöglicht, jedes dieser Instrumente auf die gebogene Glasröhre IV ziemlich luftdicht aufzusetzen.

Die Kammer V ist dadurch hergestellt, daß zwischen zwei Glasstreifen zwei ganz dünne schmale Glaslamellen eingelegt sind, welche einen Zählraum zwischen sich frei lassen. Die Höhe dieses Raumes wurde mit dem Mikroskope bestimmt und betrug im gegebenen Falle 0,066 mm. In der Nähe des einen Endes der Kammer bei a ist ein Streifchen Zinnfolie befestigt, worin sich eine kleine runde Öffnung befindet.

Zur Vornahme einer Zählung wurde die Pipette III auf das eine Ende der gebogenen Glasröhre IV gesetzt und, nachdem die Pipette in 10%-ige Kochsalzlösung getaucht war, an der Glasröhre gesaugt, wodurch die Pipette mit der Verdünnungsflüssigkeit gefüllt wurde. Dann wurde die Pipette von der Röhre abgenommen, von außen anhängender Flüssigkeit befreit und ihr Inhalt, wieder mit Hilfe der Röhre, in das Stöpselfläschchen ausgeblasen. In analoger Weise wurde bei Füllung der Blutkapillare verfahren und das abgemessene Blut zu der Verdünnungsflüssigkeit hinzugefügt. Mit der Kapillare wurde auch die Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit vorgenommen, die Kapillare aber dann vollständig ausgeblasen. Im gegebenen Falle wurden so 13,9 cmm Blut mit 3093 cmm Salzlösung verdünnt.

Nach dem Mischen wurde zur Füllung der Kammer V geschritten und diese zu dem Zwecke auf die gebogene Röhre aufgesetzt. Dann wurde das Fläschchen mit der Blutmischung tüchtig geschüttelt, die Kammer in diese schnell eingetaucht und vollgesaugt. Nach dem Verschluß des Fläschchens wurde die Kammer wieder von der Röhre abgenommen und die an den Enden der Kammer hängende Flüssigkeit abgewischt.

Jetzt wurde die Kammer horizontal unter das Mikroskop gelegt — was gut ging, weil der Holzring der Kammer an der einen Seite abgeflacht war — und dort, wo sich die Öffnung in der Zinnfolie befand, in das Gesichtsfeld des Mikroskopes gebracht. Dann wurde bei 210-facher Vergrößerung mit Hilfe der Netzteilung im Okular die erste Sagittalreihe a b, darauf die zweite c d und so fort ausgezählt, bis alle innerhalb des Zählnetzes befindlichen Blutkörperchen ermittelt waren. Nunmehr wurde die Kammer geleert, mit Äther ausgespült, mit Luft getrocknet und von neuem gefüllt und ausgezählt. Diese Prozedur wurde mehrere Male wiederholt und aus den erhaltenen Zahlen das Mittel gezogen, welches in normalen Fällen etwa 250 betrug.

Unter Berücksichtigung der Größe des Zählraumes und der Verdünnung wurde dann berechnet, in welchem Bruchteile eines Kubikmillimeters Blut man gezählt hatte, worauf sich leicht der Gehalt von 1 cmm Blut an Blutkörperchen ergab.

Eine derartige Zählung dauerte kaum $^1/_4$ Stunde und war nach den Angaben Cramers mit einem Fehler von nur 1,6% behaftet.

Diese Methode stand, abgesehen vielleicht von den verwendeten Pipetten und der Art ihrer Füllung, ganz auf der Höhe der Zeit und stellt eine wesentliche Verbesserung der Vierordtschen und Welckerschen Methode dar. Der von G. Hayem[1]) erhobene Einwand, daß sich ein Zählraum durch Kapillarität nur ungleichmäßig füllen könne, ist nach den Untersuchungen des Verfassers nicht stichhaltig, sofern die Höhe des Raumes den Durchmesser der Blutkörperchen um ein Mehrfaches übertrifft[2]).

4. Die Methode von Potain (1867).[3])

Bei dieser nicht veröffentlichten Methode, die aber nach L. C. Malassez verdient, es zu werden, kommt zum ersten Male der später so viel gebrauchte und von Malassez „Mélangeur Potain" getaufte Apparat zur Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit zur Verwendung.

Dieser Melangeur (Fig. 4) besteht aus einer mit einer Ampulle versehenen dickwandigen Glaskapillare. Die Ampulle, in der sich ein Glaskügelchen befindet, ist beiderseits durch Marken begrenzt und schließt ein Volumen ein, das 100mal größer ist als das von der Spitze bis zur unteren Marke reichende Volumen der Kapillare. Zur Eichung dient Quecksilber. Auf das andere Ende der Kapillare ist ein Gummischlauch mit Mundstück aufgesteckt.

Zur Verdünnung des Blutes saugt man dieses langsam bis zu der direkt unterhalb der Ampulle befindlichen Marke an, wischt das außen anhaftende Blut ab, taucht die Spitze in die Verdünnungsflüssigkeit, bestehend aus

Natriumsulfat	5 g
Glyzerin	25 „
Wasser	100 „ ,

ein, zieht diese bis zur oberen Marke nach und mischt, indem man den Melangeur um seine Achse dreht und ihn zugleich am einen Ende hebt und senkt, mit Hilfe des Glaskügelchens Blut und Verdünnungsflüssigkeit.

Zur Zählung der Blutkörperchen wurden kleine Quantitäten der Blutmischung mit Hilfe einer von der Spitze des Melangeurs bis zur Mitte der Kapillare reichenden Skala abgemessen. Das vom Teilstrich 0 und der Spitze (Teilstrich 10) begrenzte Volumen entsprach 1 cmm, die Unterteilung ermöglichte die Ablesung von $\frac{1}{50}$ cmm. Die Abmessung selbst geschah in der Weise, daß der gefüllte Melangeur zunächst etwas ausgeblasen wurde, um die nicht in die Mischung eingegangene reine Verdünnungsflüssigkeit zu beseitigen, worauf durch eine passende Bewegung des Melangeurs

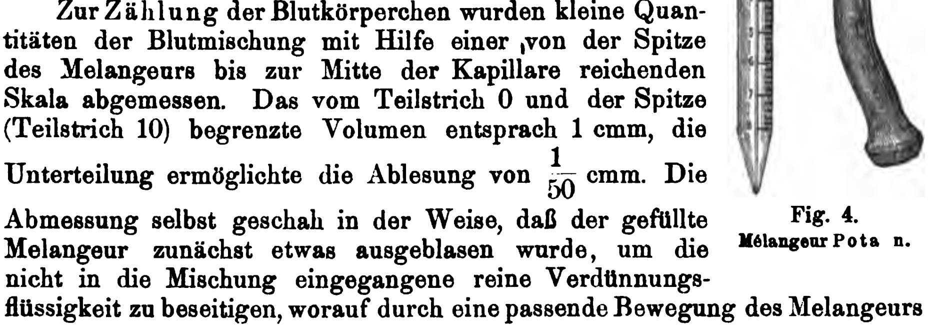


Fig. 4. Mélangeur Potain.

1) G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1875, 2, S. 293.
2) Siehe S. 68 und 76 dieses Beitrages.
3) Beschrieben von L. C. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1873, 1, S. 12.

eine kleine Luftblase in die Meßkapillare gebracht wurde. Diese Luftblase diente als Index, sie wurde durch weiteres Ausblasen bis zur Skala geführt, und es konnten nunmehr die weiterhin abgegebenen Tröpfchen der Blutmischung ihrem Volumen nach in $\frac{1}{50}$ cmm angegeben werden.

Mehrere dieser Tröpfchen wurden nun in solcher Größe auf dem Boden einer kleinen, aus Glas hergestellten feuchten Kammer deponiert, daß jedes für sich im Gesichtsfelde des Mikroskopes Platz fand. Dann wurden die Tröpfchen mit Hilfe eines „Oculaire quadrillé" ausgezählt. War n die gesamte ermittelte Zahl der Blutkörperchen und d das gesamte Volumen der Tröpfchen, in $\frac{1}{50}$ cmm ausgedrückt, dann mußten in $\frac{1}{50}$ cmm im Mittel $\frac{n}{d}$ Blutkörperchen enthalten gewesen sein, demnach in 1 cmm Blut, entsprechend der 100-fachen Verdünnung, $\frac{n \cdot 50 \cdot 100}{d}$.

Über die Kritik des Melangeurs siehe Seite 43 dieses Handbuchs.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß die genaue wiederholte Abmessung so kleiner Flüssigkeitsmengen in die feuchte Kammer mit erheblichen Fehlern verknüpft ist; das hat Malassez zur Konstruktion eines neuen Zählapparates veranlaßt.

5. Die erste Methode von L. Malassez mit dem Compte-globules à capillaire artificiel (1873).[1]

Von der Potainschen Methode hat Malassez nur den Melangeur übernommen, die Skala fiel aber weg, und es wurden nur Marken für 100- und 200-fache Verdünnung angebracht. Zur 50-fachen Verdünnung mußte die ganze Meßkapillare 2 mal gefüllt werden.

Die Verdünnungsflüssigkeit wurde durch Mischung von 1 Volumen einer wäßrigen Gummiarabicumlösung mit der Dichte 1,020 und von 3 Volumina einer aus gleichen Teilen von Natriumsulfat und Natriumchlorid bestehenden wäßrigen Lösung von der gleichen Dichte erhalten. Für alle Blutarten erwies sich diese Flüssigkeit nicht als geeignet, da sie die einen Blutkörperchen zum Schrumpfen, die anderen zum Quellen brachte. Durch Zusatz eines Tropfens 50 %-iger Kalium- oder Natriumkarbonatlösung zu 15 g Verdünnungsflüssigkeit wurden die Blutkörperchen rund gemacht, wodurch die Verteilung eine regelmäßigere und die Zählung erleichtert wurde.

Gezählt wurde in dem Compte-globules à capillaire artificiel.

Die 2—3 cm lange, 4—5 mm breite und 1 mm dicke „Capillaire artificiel" (Fig. 5) war aus einer Thermometerröhre hergestellt, deren Hohlraum einen elliptischen Querschnitt von etwa 250 : 70 μ aufwies. Das eine Ende war verjüngt, nach aufwärts gerichtet und dort mit einem Gummischlauch samt Mundstück versehen. Diese Zählkapillare war auf einem Objektträger befestigt, der zwei eingravierte Zahlenreihen trug, von welchen die linke wechselnde Längenteile der Kapillare, die rechte die zugehörigen, mit Quecksilber bestimmten Kapazitäten in Bruchteilen eines Kubikmilli-

1) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1873, 1, S. 16 und 1874, 1.

meters angab. So gehörte z. B. zur Länge 500 μ die Kapazität $\frac{1}{150}$ cmm, zu 300 μ $\frac{1}{250}$ cmm.

Zur **Zählung** wurde ein Tropfen der Blutmischung an das freie Ende der Zählkapillare gebracht, von wo aus das verdünnte Blut durch Kapillarität eindrang. War die Flüssigkeit bis fast zum anderen Ende der Kapillare gelangt, so wurde der auf dem Objektträger zurückgebliebene Rest der Mischung mit feiner Leinwand oder Löschpapier beseitigt, um ein weiteres Eindringen, verbunden mit Verschiebung der Blutkörperchen, zu vermeiden. Dann wurde die Kapillare unter das Mikroskop gelegt und, durch ein Oculaire quadrillé micrométrique [1]), mit dem auch die Größe der Blutkörperchen bestimmt werden konnte, unterstützt, die Auszählung vorgenommen. Das Bild, das sich dabei bot, gibt die Figur 6 wieder.

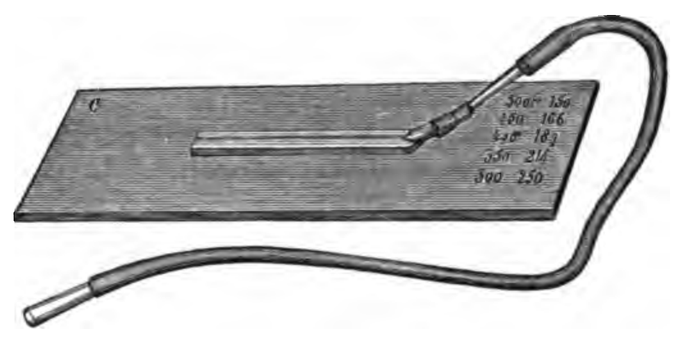


Fig. 5.
Capillaire artificiel nach L. Malassez.

Gezählt wurden die in dem abgegrenzten Stück des Kanales gelegenen Blutkörperchen von der äußersten rechten bis zur äußersten linken Linie der Netzteilung hin, und zwar Sagittalreihe für Sagittalreihe der Quadrate. Wenigstens 2 oder 3 solche Zählungen wurden an verschiedenen Stellen der Kapillare vorgenommen. Die erhaltene Blutkörperchenzahl war mit dem bekannten Volumensbruchteil, in dem

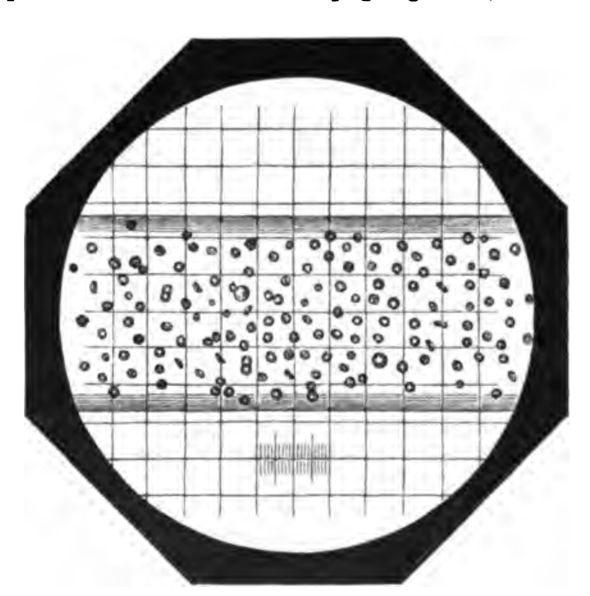


Fig. 6.
Mikroskopisches Bild der gefüllten „Capillaire artificiel", „Oculaire quadrillé" im Mikroskop. Nach L. Malassez.

1) Über die Auswertung siehe L. Malassez, Nouveaux procédés de micrométrie. Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 6, S. 27, 1874 und Lit.-Verzeichnis 1873, 1, S. 21.

man gezählt hatte, und der Verdünnungsziffer zu multiplizieren. Wurden in einem Zählraum von 500 μ Länge, der $\frac{1}{150}$ cmm entsprach, 118 Blutkörperchen gezählt und lag 200-fache Verdünnung vor, dann waren in 1 cmm Blut $118 \cdot 150 \cdot 200 = 3540000$ Blutkörperchen enthalten.

Zur Reinigung der Zählkapillare wurde der Inhalt ausgeblasen, in Leinwand oder Löschpapier aufgenommen und die Kapillare mit destilliertem Wasser ausgewaschen. Zur Reinigung des Melangeurs wurde der Schlauch auf das lange Ende aufgesetzt, der Inhalt ausgeblasen und nach dem Umsetzen des Schlauches mit destilliertem Wasser ausgespült. Im Bedarfsfalle wurde von stärkeren Reinigungsmitteln 25 %-ige Kali- oder Natronlauge benutzt.

Die Fehlerquellen erörtert Malassez in der ersten Arbeit Seite 26, in der zweiten Seite 39. Die Fehler sollen nicht größer als 3 % bei einer Zähldauer von nur 10 Minuten sein, was viel zu optimistisch ist. Eine sehr berechtigte Kritik hat E. Reinert[1]) an der Methode geübt, der auch die Prüfungen des Malassezschen Apparates durch J. Worm-Müller[2]), S. T. Sörensen[3]) und S. Laache[4]) erwähnt.

Später hat Malassez[5]) seine Methode etwas modifiziert und als Verdünnungsflüssigkeit eine 5—6 %-ige Natriumsulfatlösung von 1,020—1,024 Dichte bei 15° C oder auch eine entsprechende Magnesiumsulfatlösung benutzt. Die von Grancher angegebene 2,5 %-ige Natriumsulfatlösung (Dichte 1,010) machte die Blutkörperchen zwar sphärisch, löste sie aber auch auf. An der Zählkapillare wurde eine solche Länge des Zählraumes markiert, welche $\frac{1}{100}$ cmm entsprach; bei 100-facher Verdünnung brauchte dann die ermittelte Zahl nur mit 10000, bei 200-facher mit 20000 multipliziert zu werden.

Der Glaube, daß verdünntes Blut in einen kapillären Raum nur ungleichmäßig eindringen könne, hat G. Hayem veranlaßt, im Verein mit A. Nachet einen neuen Zählapparat zu konstruieren.

6. Die Methode von G. Hayem und A. Nachet mit dem Hématimètre (1875)[6]).

Die Hématimètre genannte Zählkammer ist in Figur 7 abgebildet.

Der Zählraum ist bei diesem Apparate dadurch hergestellt, daß auf einen Objektträger (Fig. 7) eine quadratische Glaslamelle mit einem runden Ausschnitt von 1 cm Durchmesser aufgekittet ist. Die Dicke der Lamelle ist so bemessen, daß nach dem Auflegen eines Deckglases die Kammerhöhe $\frac{1}{5}$ mm beträgt.

Zur Abgrenzung eines bestimmten Raumes wird ins Okular des Mikroskops ein

---

1) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 52.
2) J. Worm-Müller, Lit.-Verzeichnis 1876, 1.
3) S. T. Sörensen, Lit.-Verzeichnis 1876, 2, S. 27.
4) S. Laache, Lit.-Verzeichnis 1883, 2, S. 1.
5) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1880, 3, S. 378.
6) G. Hayem et A. Nachet, Lit.-Verzeichnis 1875, 1, G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1875, 2, 1878, 2, S. 5 und 1889, 1, S. 27.

quadriertes Glas (Fig. 8) gebracht und der Tubus so ausgezogen, daß die Seiten des großen Quadrates objektiv $\frac{1}{5}$ mm lang sind, so daß man also in einem Raume von $\left(\frac{1}{5}\right)^3 = \frac{1}{125}$ cmm zählt. Das große Quadrat enthält 16 kleine Quadrate, welche abwechselnd durch eingefügte transversale und sagittale Striche unterschieden sind.

Als Verdünnungsflüssigkeit wurde zuerst normales oder pathologisches Serum (Amnionflüssigkeit von der Kuh, Aszitesflüssigkeit vom Menschen) von etwa 1,019 Dichte, später Urin von Diabetikern und die jetzt vielfach gebrauchte Hayemsche Lösung, bestehend aus

destilliertem Wasser	200	g
Natriumchlorid	1	„
Natriumsulfat	5	„
Merkurichlorid	0,5	„,

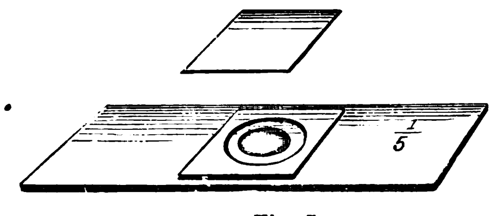


Fig. 7.
Hématimètre nach G. Hayem.

benutzt. Letztere Lösung zerstört selbst in Fällen extremer Anämie rote Blutkörperchen nicht, erzeugt aber schließlich einen Niederschlag und sollte bei einer Vermehrung des Fibrines im Blut nicht gebraucht werden. Auch die früher (S. 12) genannte Malassezsche Flüssigkeit ist geeignet, wenn sie nach dem Vorschlage von Bouillard mit einem Drittel Hayemscher Lösung gemischt wird. Die vielfach benutzte Pacinische Lösung, bestehend aus

Merkurichlorid	2,0	g
Natriumchlorid	4,0	„
Glyzerin	26,0	„
destilliertem Wasser	226,0	„,

vor dem Gebrauch mit 2 Teilen destilliertem Wasser zu verdünnen, ist nach Hayem[1]) nicht geeignet, weil sich in ihr die Blutkörperchen zu Häufchen zusammenlegen.

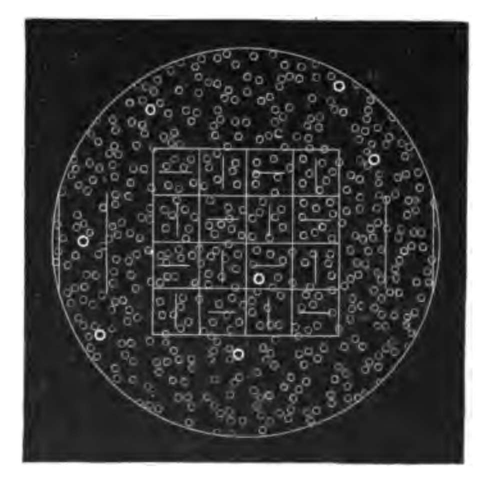


Fig. 8.
Netzteilung im Okular nach G. Hayem.

Zur Abmessung der Verdünnungsflüssigkeit und des Blutes dienen zwei getrennte Pipetten (Fig. 9, S. 16); mit der einen können 100—500 cmm Verdünnungsflüssigkeit, mit der anderen 2—5 cmm Blut abgemessen werden. Die Mischung geschieht in einem Gläschen mit Hilfe eines Schäufelchens (Fig. 10, S. 16).

Zur Zählung werden z. B. 500 cmm Verdünnungsflüssigkeit in das Mischgläschen abpipettiert und 2 cmm Blut hinzugefügt, was einer 251-fachen Verdünnung entspricht. Dann wird mit Hilfe des Schäufelchens gemischt (gequirlt), ein Tröpfchen der Mischung in die Zählkammer übertragen, das

1) G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1878, 3, S. 699.

Deckglas langsam aufgelegt und an seinen Rand etwas Speichel gebracht, um das Abgleiten und Verdunsten zu verhindern.

Nach einigen Minuten zählt man unter dem Mikroskope das ganze große Quadrat, unterstützt durch die Netzteilung, aus, und zwar derart, daß man zunächst alle im Innern des Quadrates liegenden Blutkörperchen, alsdann die auf den vier Grenzlinien befindlichen ermittelt, von letzteren aber nur die Hälfte berücksichtigt. Dann verschiebt man den Objektträger, zählt abermals und führt diese Prozedur im ganzen 4—6 mal durch. Darauf zieht man das Mittel aus den 4—6 Zählungen, multipliziert mit 125, dann mit 251, im ganzen also mit 31375 (abgekürzt 31000), und erhält so die Blutkörperchenzahl von 1 cmm Blut. Aus einer mitgeteilten Tabelle[1]) kann auch der Wert für 1 cmm Blut auf Grund des direkt gewonnenen Zählresultates abgelesen, die Multiplikation also erspart werden.

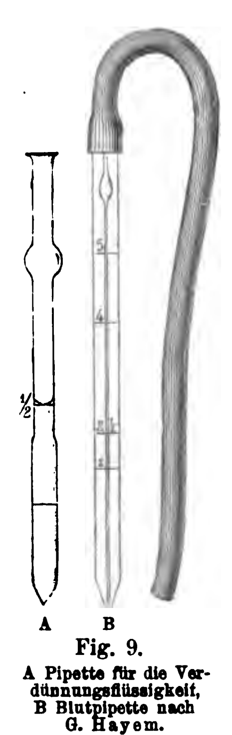
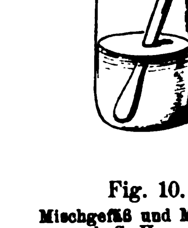


Fig. 9.
A Pipette für die Verdünnungsflüssigkeit, B Blutpipette nach G. Hayem.


Fig. 10.
Mischgefäß und Mischer nach G. Hayem.

Die Reinigung des Apparates ist die übliche, die noch feuchten Pipetten werden mit absolutem Alkohol und Äther ausgespült, zur Trocknung wird Luft durchgesaugt.

L. Malassez[2]) hat die Hayem-Nachetsche Methode dadurch etwas modifiziert, daß er ein einfacheres Verdünnungsverhältnis wählte, und daß das Zählnetz nicht $\frac{1}{16}$ sondern $\frac{1}{20}$ qmm umfaßte; bei einer Kammerhöhe von $\frac{1}{5}$ mm wurde dann in einem Raume von gerade $\frac{1}{100}$ cmm gezählt. Bei 100-facher Verdünnung braucht man dann nur an das Zählresultat 4 Nullen anzuhängen, um die Körperchenzahl von 1 cmm Blut zu erhalten; bei 200-facher Verdünnung werden 2, bei 300-facher drei große Felder gezählt.

Später hat A. Nachet[3]) im Anschluß an die Methode von W. R. Gowers (S. 19) das Zählnetz in origineller Weise mit Hilfe der in Figur 11 abgebildeten optischen Vorrichtung von unten her auf die Zählfläche des Hämatimeters projiziert, so daß das Oculaire quadrillé jetzt wegfällt und man nicht an ein bestimmtes Mikroskop gebunden ist.

---

1) G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1878, 2, S. 14 und 1889, 1, S. 40.
2) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1880, 3a, S. 384.
3) Bei G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1889, 1, S. 35.

Diese Vorrichtung ist an dem Objekttisch C (Fig. 12) befestigt und besteht aus einem Objectif quadrillé B, dessen Netzteilung bei P zu sehen ist. Mit Hilfe eines Linsensystemes wird diese Teilung auf die Zählfläche O entworfen. L ist der Deckglasträger, V das Deckglas des Hämatimeters.



Fig. 11.
Optische Vorrichtung zur Projektion des Zählnetzes auf die Zählfläche nach A. Nachet.

Um die Verschiebung des Hämatimeters unter dem Mikroskop wenigstens in transversaler Richtung zu erleichtern, hat Nachet einen einfachen beweglichen Objekttisch angefertigt (Fig. 13). Schließlich hat Nachet auch noch einen kompletten Zählapparat samt Mikroskop (microscope hématimétrique portatif) konstruiert (Fig. 14, S. 18), der die erwähnte transversale Verschiebung des Hämatimeters, aber auch noch eine sagittale mit Hilfe eines Exzenters erlaubt und zugleich eine genauere Orientierung auf der Zählfläche ermöglicht.[1])

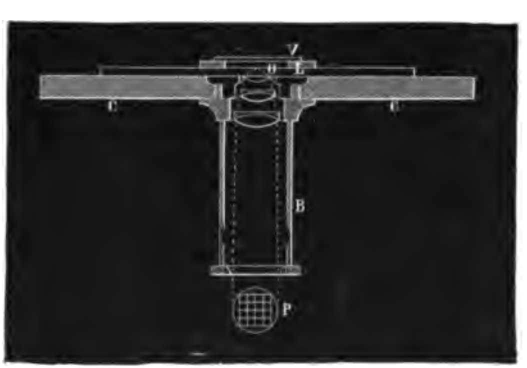


Fig. 12.
Schnitt durch die optische Vorrichtung von A. Nachet.

Bei dieser in Frankreich viel gebrauchten Methode erweckt die Verwendung der sehr kleinen Mengen von Blut und Verdünnungsflüssigkeit, deren exakte Abmessung erschwert ist, Bedenken. Artfremdes Serum und Urin als Verdünnungsflüssigkeiten sind zu verwerfen. Auch sollte das Mischgefäß verschließbar sein. Von der Benutzung des Speichels zur Fixierung des Deckglases sollte abgesehen und die Erzeugung von Newtonschen Farbenstreifen angestrebt werden. Als ein Vorzug muß die Benutzung getrennter Pipetten zur Abmessung des Blutes und der Verdünnungsflüssigkeit bezeichnet werden, originell ist auch die Projektion des Zählnetzes auf die Zählfläche. Wie die Thoma-Zeißsche Zählkammer, so muß bei fest aufliegendem Deckglas aber auch die Hayem-Nachetsche Kammer abhängig von raschen Luftdruckschwankungen sein (S. 39 dieses Handbuchs).



Fig. 13.
Beweglicher Objekttisch für den Hématimètre nach A. Nachet.

---

1) Alle diese Apparate können von A. Nachet, Paris, Rue Saint-Séverin 17, bezogen werden; siehe dessen Katalog.

In anderer Art und mit anderen Flüssigkeiten hat Mayet[1]) die Verdünnung des Blutes zur Zählung der Blutkörperchen im Malassezschen und Hayemschen Apparat vorgenommen, um eine geeignetere Dichte und Viskosität der Blutmischung zu erzielen. Er maß mit einer in 0,1 ccm geteilten Pipette 500 cmm einer 1 %-igen Osmiumsäurelösung (Dichte ungefähr 1,006) ab und blies diese in das Mischgefäß von Hayem. Mit der Hayemschen Kapillarpipette wurden dann 4 cmm Blut entnommen, zur Osmiumsäurelösung hinzugefügt, worauf mit dem Schäufelchen gemischt wurde. Um die Osmiumsäure wirken zu lassen, wurde die Blutmischung 2 Minuten sich selbst überlassen. Mit der zuerst genannten, zwar abgewischten aber nicht getrockneten Pipette wurden dann 500 cmm der folgenden Lösung

destilliertes Wasser	55	ccm
Glyzerin rein	45	„
1 %-ige wäßrige Eosinlösung	17	„

von 1,162 Dichte abgemessen und zu der Blutmischung unter lebhaftem Umrühren hinzugefügt; Dichte jetzt etwa 1,084. Die roten Blutkörperchen wurden dabei durch das Eosin gefärbt, die weißen kaum.

E. Reinert[2]) fand aber in der Mayetschen Lösung Blutkörperchenkonglomerate, ferner die Mischung erschwert und unbequem.



Fig. 14.
Microscope hématimétrique portatif nach A. Nachet.

Eine neue Epoche beginnt in der Blutkörperchenzählung mit der Einführung des Objektnetzmikrometers durch Gowers.

1) Mayet, Lit.-Verzeichnis 1888, 2, S. 91.
2) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 34.

7. Die Methode von W. R. Gowers mit dem Hämazytometer (1877)[1].

Der Autor hat den Hayem-Nachetschen Apparat im allgemeinen beibehalten, ihn aber im besonderen dadurch wesentlich modifiziert, daß er an Stelle eines nur projizierten Zählnetzes ein wirkliches, in die Zählfläche eingeritztes Netz verwendete, und daß er ferner das Deckglas durch Klammern gegen die Unterlage andrücken ließ (Fig. 15).

Durch senkrecht sich durchkreuzende Linien (C) ist ein Teil der Zählfläche, und zwar 9 qmm, in kleine Quadrate von $\frac{1}{100}$ qmm geteilt, in welchen die Blutkörperchen gezählt werden. Um die Netzlinien besser hervorzuheben, wird empfohlen, Graphitpulver in die Ritzen einzureiben. Die Kammerhöhe beträgt $\frac{1}{5}$ mm, der Raum über

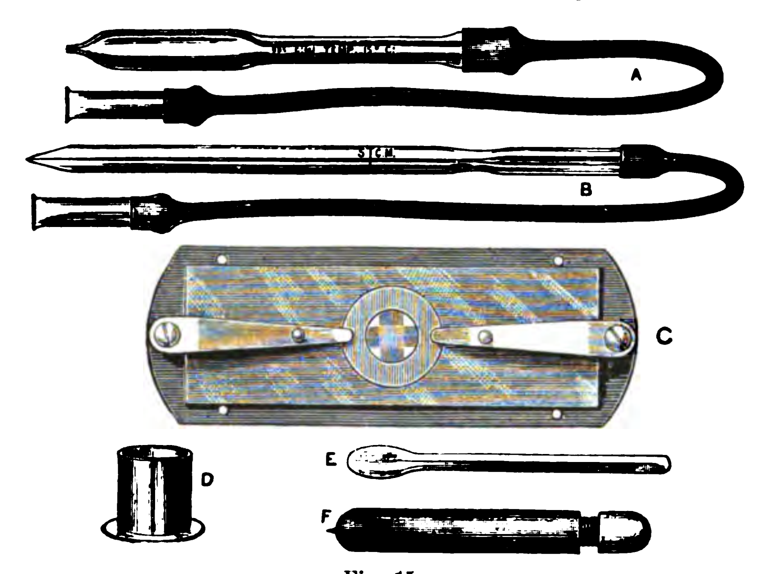


Fig. 15.
Hämazytometer nach W. R. Gowers, A Pipette für die Verdünnungsflüssigkeit, B Blutpipette, C Zählkammer, D Mischgefäß, E Spatel zum Mischen, F Instrument zur Blutentziehung.

1 Quadrat also $\frac{1}{500}$ cmm; er wird dadurch konstant erhalten, daß Klammern das Deckglas gegen die Unterlage andrücken. Diese Klammern entspringen von einem entsprechend durchbohrten Metallstück, auf das auch die Kammer gelagert ist.

Sonst gehört noch zum Apparate eine Pipette zur Abmessung von 995 cmm Verdünnungsflüssigkeit (A), ein Instrument zur Blutentziehung (F), eine Pipette zur Abmessung von 5 cmm Blut (B), ein Mischgefäß (D) und ein Spatel (E).

Als Mischflüssigkeit wird eine wäßrige Natriumsulfatlösung von 1,025 Dichte benutzt. Von anderen Verdünnungsflüssigkeiten werden als geeignet bezeichnet[2]) Gowers Lösung, bestehend aus Natriumsulfat 104 grains,

1) W. R. Gowers, Lit.-Verzeichnis 1877, 1.

2) Prospekt der Firma T. Hawksley, London W, Oxford Street 357, welche den Apparat liefert.

Essigsäure 1 drachm., destilliertes Wasser 4 ozs., ferner die schon Seite 12 erwähnte, aus arabischem Gummi, Natriumsulfat und Natriumchlorid zusammengesetzte Lösung und endlich die Keyessche Lösung. Zur Herstellung der letzteren nehme man schwach phosphathaltigen Urin von ungefähr 1,020 Dichte und sättige die Lösung mit Borax. Zur Beseitigung ausgefallener Erdphosphate filtriere man und erhält so eine klare alkalische Flüssigkeit von 1,030 Dichte. Fügt man die Hälfte Wasser dazu, so ist die Lösung, deren Dichte jetzt wieder 1,020 beträgt, zum Gebrauche fertig.

Die Zählung wird in der Weise vorbereitet, daß 995 cmm Verdünnungsflüssigkeit in das Mischgefäß abgemessen und 5 cmm Blut zugefügt werden, worauf mit Hilfe des Spatels gemischt wird. Von dem so 200-fach verdünnten Blute wird ein Tropfen am dünnen Ende des Spatels mitten auf die Zählfläche übertragen, das Deckglas aufgelegt und aufgepreßt. Dann werden die Blutkörperchen nach ihrer Senkung bei schiefer, nicht zu starker Beleuchtung des Zählnetzes in 10 Quadraten gezählt, worauf die ermittelte Zahl nur mit $500 \cdot 200 = 10000$ multipliziert zu werden braucht, um auf den Gehalt von 1 cmm Blut zu kommen. Die ganze Zählung nimmt nur eine Viertelstunde in Anspruch.

Bei einem Normalgehalte des Blutes von 5,00 Millionen müssen in 10 Quadraten 500, in 2 Quadraten 100 Blutkörperchen gelegen sein = 100 % der Norm bzw. 1,00 relativer Wert. Der über 2 Quadraten gelegene Raum würde 0,00002 cmm Blut entsprechen, welche Menge Gowers mit „haemic unit“ bezeichnet. Werden in 10 Quadraten nur 355 Blutkörperchen gezählt, dann liegen durchschnittlich in 2 Quadraten nur $355:5 = 71$ Blutkörperchen, oder der Gehalt des Blutes beträgt nur 71 % der Norm bzw. 0,71. Man kann so leicht das Resultat in Prozenten der Norm angeben.

Nach der Zählung wird die Zählfläche mit einer feinen Haarbürste gereinigt, mit einem weichen Tuche getrocknet und von Stäubchen befreit. Die Pipetten werden sofort ausgespült und dadurch, daß Luft durchgesaugt wird, getrocknet; eventuell wird zur mechanischen Reinigung ein Pferdehaar oder eine Borste, zur chemischen Salpetersäure benutzt.

Die Methode bedeutet insofern einen entschiedenen Fortschritt, als das Zählnetz ein objektives geworden ist. Beanstandet muß Urin als Verdünnungsflüssigkeit und die geringe zur Verwendung kommende Menge Blut (nur 5 cmm) werden, auch ist die exakte Auszählung der relativ großen Quadrate, von denen jedes etwa 50 Blutkörperchen enthält, nicht leicht. Das Mischkölbchen muß jedenfalls, um Verdunstung der Verdünnungsflüssigkeit zu verhindern, zugedeckt werden. Von raschen Luftdruckschwankungen muß auch diese Kammer, sofern das Deckglas fest aufliegt, abhängig sein (S. 39).

Durch Kombination des Potainschen Melangeurs mit Teilen der Hayemschen und Gowersschen Zählkammer ist die am meisten verbreitete

8. Methode von R. Thoma und C. Zeiß (1878)[1]

entstanden.

1) E. Abbe, Lit.-Verzeichnis 1878, 4, J. F. Lyon und R. Thoma, Lit.-Verzeichnis 1881, 1, Prospekt der optischen Werkstätte C. Zeiß, Jena.

Der von der optischen Werkstätte C. Zeiß in Jena hergestellte Apparat (Fig. 16) besteht aus einem Potainschen Melangeur (S. 11), welcher aber etwas größer als der von Potain angegebene ist, und aus einer der Hayemschen ähnlichen Zählkammer (bei a Fig. 16 von oben, bei b nach einem Vertikalschnitt von der Seite gesehen). Die Meßkapillare des Melangeurs ist in Zehntel geteilt.

Die Zählkammer ist dadurch hergestellt, daß auf einen starken Objektträger O eine kreisförmig ausgeschnittene, fein polierte dünne Glasplatte W und innerhalb des Ausschnittes ein kreisrundes Plättchen B aufgekittet ist. Das Plättchen B hat einen geringeren Durchmesser (5 mm bei Thoma) als der Ausschnitt W (11 mm bei Thoma), so daß zwischen B und der Platte W eine Rinne r entsteht. Die obere Fläche des Plättchens B, welche den Boden der Zählkammer bildet, steht überall genau um 0,100 mm tiefer als die von W und trägt nach dem Vorgange von Gowers eine mit Diamant ein-

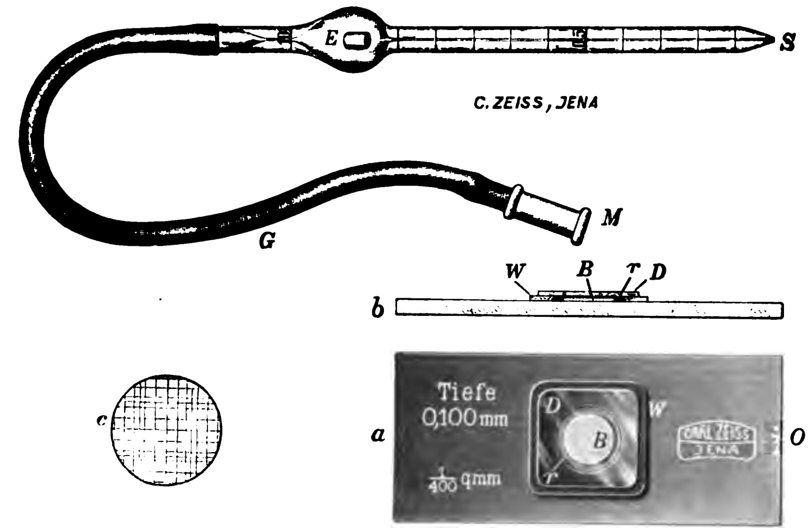


Fig. 16.
Blutkörperzählapparat nach Thoma-Zeiß.
(Außer ca. ²/₃ nat. Größe.)

geritzte, quadratische Netzteilung (Fig. 17, S. 22), 1 qmm in 400 Quadrate geteilt (Seitenlänge jedes Quadrates $\frac{1}{20}$ mm, also Flächeninhalt $\frac{1}{400}$ qmm, Rauminhalt nach dem Auflegen des Deckglases $\frac{1}{4000}$ cmm). Zur besseren Orientierung auf dem Zählnetz ist durch jede fünfte Transversal- und Sagittalreihe eine Linie gezogen (siehe auch Fig. 16 c)[1]). Um den Kammerraum von oben her zu begrenzen, wird ein Deckglas von 0,35, neuerdings von 0,40 mm Dicke aufgelegt. Soll bei stärkerer Vergrößerung gezählt werden, so kommt wegen des geringeren Objektivabstandes ein Deckglas von nur 0,18 mm Dicke, das auf ein stärkeres, mit einem konischen Ausschnitt versehenes Deckglas von unten her aufgekittet ist (Fig. 18, S. 22), zur Anwendung.

Als Verdünnungsflüssigkeit hat Thoma 3%-ige Kochsalzlösung benutzt, in welcher die roten Blutkörperchen allerdings stark schrumpfen, ihre Färbung aber nur um so deutlicher hervortritt und sie von den zu glän-

1) Ursprünglich waren es 25 Gruppen von je 16 Feldern.

zenden farblosen Kugeln umgestalteten, weißen Blutkörperchen unterscheidet. In dem Prospekt der Firma Zeiß wird auch 0,8%-ige Kochsalzlösung und die noch bessere Hayemsche Lösung (S. 15) als geeignete Verdünnungsflüssigkeit genannt.

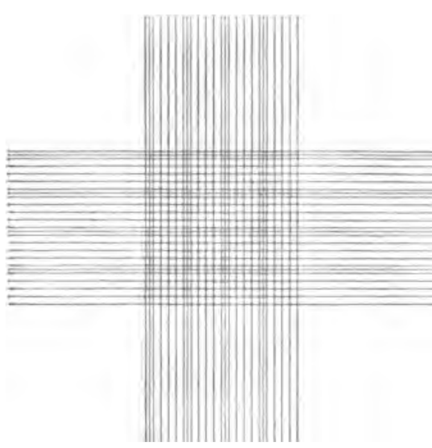


Fig. 17.
Netzteilung nach Thoma.
(20mal vergr.)

Zur Verschiebung der Zählkammer wird ein beweglicher Objekttisch oder als Ersatz für einen solchen das Gleitlineal von C. Detto[1]) empfohlen.

Der Gang einer Zählung ist folgender. Mit der Mischpipette wird die Blutverdünnung in der schon von Potain angegebenen Weise (S. 11) vorgenommen. Wird das Blut bis zur Marke 0,5 ein- und Verdünnungsflüssigkeit bis 101 nachgesaugt und gemischt, dann enthält das Gemisch in 100 Volumensteilen 0,5 Volumensteile Blut, die Verdünnung ist also eine 200-fache. Beim Einsaugen des Blutes bis zur Marke 0,6 ist die Verdünnung eine $^{100}/_{0,6}$ fache, beim Einsaugen bis zur Marke 1,0 eine 100-fache. Da die bis zur Marke 1 reichende Verdünnungsflüssigkeit nicht in die Mischung eingeht, so muß sie vor der Entnahme der Blutmischung zur Zählung ausgeblasen werden. Die Mischung selbst wird nach dem Aufsetzen des Fingers auf die Spitze der Pipette durch passendes Schütteln vorgenommen, wobei das in der Ampulle befindliche Glasstückchen die Mischung unterstützt. Nach Thoma ist der Fehler bei dieser Art der Verdünnung nur 0,5% groß.



Fig. 18.
Dünnes Deckglas von unten her auf ein dickes, mit konischem Ausschnitt versehenes Deckglas aufgekittet (nat. Größe).

Die sorgfältig gereinigte und horizontal gelagerte Zählkammer wird nun dadurch mit der Blutmischung beschickt, daß ein sehr kleines Tröpfchen auf die Zählfläche gebracht und so schnell als möglich mit dem Deckglas bedeckt wird. Der eine Rand dieses Glases wird dabei auf die Deckglasunterlage aufgestützt, das Glas dann langsam heruntergelassen und, sowie das Tröpfchen nahezu berührt wird, fallen gelassen. Jetzt müssen durch Andrücken des Deckglases Newtonsche Farbenstreifen derart erzeugt werden, daß sie auch nach dem Aufhören des Druckes bestehen bleiben. Wenn bei einem Zählversuche dieses Resultat nicht erzielt werden kann, so muß das Präparat verworfen werden; wird es erzielt, so darf man annehmen, daß die Fehler der Kammertiefe 0,001 mm, also 1%, nicht übersteigen.

Eindringen von Blutmischung zwischen Deckglas und Unterlage muß vermieden werden. Durch ein solches Ereignis würde das Deck-

---

1) C. Detto, Ein neues Gleitlineal. Zeitschr. für wissensch. Mikroskopie und für mikroskop. Technik, Bd. 23, S. 301. 1906.

glas sofort gehoben und die Abmessung der Flüssigkeitsschichte in so hohem Grade ungenau gemacht werden, daß das Präparat als unbrauchbar betrachtet werden müßte. Da das planparallel geschliffene Deckglas 0,35 mm dick ist, so erscheint ein Durchbiegen durch den Zug der kapillaren Flüssigkeitsschichte ausgeschlossen.

Nach der Beschickung läßt man die Kammer einige Minuten ruhig liegen, damit das Senken der Blutkörperchen auf die Zählfläche ungestört vor sich gehen kann. Dann prüft man unter dem Mikroskope bei 30—70-facher Vergrößerung, ob keine Luftblasen oder sonstige fremde Körper sich im Zählraum befinden, und ob die Verteilung der Blutkörperchen eine annähernd gleichmäßige ist.

Die Zählung selbst geschieht bei etwa 200-facher Vergrößerung ganz systematisch. Wenn keine weiteren Vereinbarungen getroffen sind, ist es angezeigt, die Einteilung der Felder in Gruppen von je 16 Feldern zu benutzen. Die Gruppen sind durch das zweite System von Strichen leicht kenntlich gemacht, und jede Gruppe kann leicht in vier Vertikalreihen von vier Feldern eingeteilt werden. Eine solche Vertikalreihe von vier Feldern dient nun als Raumeinheit, deren zelliger Inhalt gezählt werden soll. Man verfährt dabei in der Weise, daß man zählt:

1. Alle Zellen, welche die obere Begrenzung dieses von vier Feldern gebildeten Rechteckes bedecken oder berühren, gleichviel ob diese Berührung von innen oder von außen erfolgt.

2. Alle Zellen, welche die Linie bedecken oder berühren, die diese vier Felder nach der einen (linken) Seite hin begrenzt.

3. Alle Zellen, welche im Innern der vier Felder gelegen sind und zugleich keine der vier Grenzkonturen der Felderreihe bedecken oder berühren.

4. Unberücksichtigt bleiben die Zellen, welche die untere und rechte Begrenzung decken oder berühren.

Man zählt somit strenge genommen nicht den Inhalt einer solchen Vertikalreihe von vier Feldern, sondern den Inhalt eines gedachten gleichgroßen Raumes, der um den Betrag eines Blutkörperdurchmessers nach oben und zur Seite (nach links) verschoben ist. Zur Markierung der zu zählenden Felderreihe hat Thoma einen Faden in das Okular eingezogen und die Zählkammer mittelst eines kleinen beweglichen Objekttisches immer so eingestellt, daß der Faden die betreffende Felderreihe deckte. Um rascher zum Ziele zu kommen, hat Thoma auch Felderreihen von 8—10 Feldern gezählt.

Die Berechnung ist einfach. Werden in n kleinen Quadraten z Zellen gezählt, so sind in $\frac{1}{4000}$ cmm durchschnittlich $\frac{z}{n}$ rote Blutkörperchen enthalten, demnach in 1 cmm Blutmischung $\frac{z \cdot 4000}{n}$ und bei a-facher Verdünnung in 1 cmm Blut $\frac{z \cdot 4000 \cdot a}{n}$. Ergaben sich z. B. in 256 Feldern 1580 Blutkörperchen, und war die Verdünnung eine 200-fache, so enthielt das Blut in 1 cmm $\frac{1580 \cdot 4000 \cdot 200}{256} = 4937500$ oder besser abgekürzt 4,94 Millionen rote Blutkörperchen.

Die Reinigung ist die übliche. Da der Kammerboden und der Deckglasträger mit Kanadabalsam auf den Objektträger aufgekittet ist, so darf kein Alkohol oder Äther an die Kittstellen gebracht werden. Etwa in der Pipette abgeschiedenes Fibrin wird durch ein Pferdehaar beweglich gemacht. Zur Beseitigung festsitzenden Fibrins wird auch Verdauung desselben mit Pepsin und 1%-iger Salzsäurelösung empfohlen.

Die Trocknung geschieht mit Hilfe einer Wasserstrahlluftpumpe oder eines Bunsenschen Aspirators.

Thoma und Lyon haben die Methode einer eingehenden Prüfung unterworfen und die konstanten und variablen Fehler ermittelt, E. Abbe[1]) hat das Problem theoretisch behandelt.

Nach dem Ausspruche des Verfertigers des Apparates soll der Gesamtwert der konstanten Fehler des Apparates 1% nicht übersteigen. Die variablen Fehler haben die Autoren durch Blutkörperchenzählungen an ein- und demselben Apparate empirisch bestimmt und die Gaußsche Fehlerquadratmethode auf ihre Resultate angewendet[2]).

Aus den Gaußschen Deduktionen ergibt sich, daß, wenn der wahrscheinliche Fehler einer Zählung W beträgt, unter 1000 Zählungen

500	mal	Fehler	zwischen	0	und	W
323	„	„	„	W	„	2W
134	„	„	„	2W	„	3W
36	„	„	„	3W	„	4W
6	„	„	„	4W	„	5W
1	„ ein	„	größer als 5W			

vorkommt. Liegen weniger oder mehr Beobachtungen vor als 1000, so müßten diese Zahlen eine proportionale Änderung erfahren, also bei 10 Zählungen sich 5 mal Fehler zwischen 0 und W, ca. 3 mal zwischen W und 2W, ca. 1 mal zwischen 2W und 3W usw. ergeben. Ist die Anzahl der nach der gleichen Methode gezählten Blutkörperchen verschieden groß, so verhalten sich die wahrscheinlichen Fehler umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Zahl der in beiden Fällen gezählten Körperchen.

Angenommen, es seien bei einer Blutverdünnung 1:100 vier Vertikalreihen von je 15 Feldern, also im ganzen 60 Felder gezählt worden, die aus einer größeren Beobachtungsreihe entnommenen Zahlen für je eine Vertikalreihe seien

$$M_1 = 218$$
$$M_2 = 224$$
$$M_3 = 245$$
$$M_4 = 209.$$

Die Größen M_1, M_2, M_3 und M_4 sollen nun als einzelne Beobachtungen betrachtet werden, aus welchen der wahrscheinlichste Wert N für denjenigen Zellengehalt gefolgert werden soll, welchen eine Vertikalreihe von 15 Feldern aufweisen müßte, wenn die Verteilung der Zellen in der Verdünnungsflüssigkeit eine absolut gleichmäßige gewesen wäre. Dieser wahrscheinliche Wert ist gleich dem arithmetischen Mittel der Einzelbeobachtungen oder

$$N = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4}{n},$$

1) E. Abbe, Lit.-Verzeichnis 1878, 4; siehe auch R. Kjer-Petersen, Lit.-Verzeichnis 1906, 12, S. 24.

2) J. F. Lyon und R. Thoma, Lit.-Verzeichnis 1881, 1, S. 142.

worin n die Anzahl der Beobachtungen bedeutet, also im gegebenen Falle

$$N = \frac{218 + 224 + 245 + 209}{4} = 224.$$

Die Abweichungen d_1, d_2, d_3 und d_4 vom Mittelwerte 224 sind dann

$$d_1 = -\ 6$$
$$d_2 = \pm\ 0$$
$$d_3 = +21$$
$$d_4 = -15.$$

Die arithmetische Summe dieser Abweichungen muß immer gleich 0 sein.

Um den wahrscheinlichen Fehler der Beobachtungen zu finden, sei die Summe der Fehlerquadrate Σd^2 gebildet, also

$$\Sigma d^2 = d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 = 36 + 0 + 441 + 225 = 702.$$

Diese Summe ist durch eine Zahl zu teilen, welche um eine Einheit kleiner ist als die Zahl der Beobachtungen, und aus dem Quotienten ist die Quadratwurzel zu ziehen, daher der mittlere Fehler fm jeder einzelnen Beobachtung

$$fm = \pm \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{702}{3}} = \pm \sqrt{234} = \pm 15{,}3 \text{ Zellen,}$$

der wahrscheinliche Fehler fw wäre dann $^2/_3$ fm oder genauer $0{,}6745 \cdot fm = \pm 10{,}3$ Zellen.

Bei der durchschnittlichen Zählung von 224 Zellen wäre daher der prozentische Fehler im ersten Falle $\pm 6{,}8$, im zweiten $\pm 4{,}6$.

Der mittlere Fehler Fm des Mittelwertes 224 ergibt sich zu

$$Fm = \pm \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{702}{4 \cdot 3}} = \pm \sqrt{58{,}5} = \pm 7{,}6 \text{ Zellen,}$$

der wahrscheinliche Fw zu $0{,}6745 \cdot 7{,}6 = \pm 5{,}2$ Zellen, also $\pm 3{,}4\,\%$ bzw. $\pm 2{,}3\,\%$.

Faßt man die vier Zählungen zu einer Beobachtung zusammen, so ergeben sich also in 60 Feldern 896 Zellen. Der wahrscheinliche Fehler dieser Zählung fw berechnet sich, da fw bei 224 Zellen $4{,}6\,\%$ beträgt, nach der oben (S. 24) angegebenen Beziehung

$$\frac{fw'}{fw} = \frac{\sqrt{224}}{\sqrt{896}}$$

zu $fw' = \pm 2{,}3\,\%$. Größer als $5\,fw' = 11{,}5\,\%$ könnte dieser wahrscheinliche Fehler nach der obigen Tabelle (S. 24) kaum werden, ein größerer Fehler wäre unter 1000 Zählungen von je 896 Zellen nur einmal zu erwarten.

Bei der angenommenen 100-fachen Verdünnung würden die 896 Zellen in 60 Feldern 5973333 oder abgekürzt 5,97 Millionen in 1 cmm Blut entsprechen. Da der wahrscheinliche Fehler dieses Resultates $2{,}3\,\%$ oder 137387, abgekürzt 0,14 Millionen beträgt, so ergibt sich mit der Wahrscheinlichkeit von 1 : 2, daß der wirkliche Zellgehalt des cmm untersuchten Blutes zwischen den Grenzen $5{,}97 + 0{,}14 = 6{,}11$ und $5{,}97 - 0{,}14 = 5{,}83$ Millionen enthalten ist. Mit der der Gewißheit nahekommenden Wahrscheinlichkeit vom 999 : 1000 kann man behaupten, daß der wirkliche Zellgehalt des cmm untersuchten Blutes zwischen

$$5{,}97 + 5 \cdot 0{,}14 \text{ und } 5{,}97 - 5 \cdot 0{,}14,$$

also zwischen 6,66 und 5,39 Millionen gelegen sein muß.

Die empirische Ermittlung des wahrscheinlichen variablen Fehlers durch Blutkörperchenzählungen ergab, daß dieser Fehler mit dem von der Theorie verlangten in recht gutem Einklange steht, wie aus der folgenden Tabelle (S. 26) hervorgeht.

Zur richtigen Beurteilung des gewonnenen Resultates muß man sich, wie Lyon und Thoma hervorheben, vergegenwärtigen, daß die von Abbe berücksichtigten Fehler unvermeidlich sind, selbst bei Benutzung eines absolut

Zahl der gezählten Zellen	Wahrscheinlicher Wert des Fehlers nach Abbes theoretischen Deduktionen	nach den Ergebnissen von Thoma und Lyon	abgerundeter Wert
20 000	0,477 %	0,495 %	0,5 %
5 000	0,954 %	0,991 %	1 %
1 250	1,907 %	1,983 %	2 %
200	4,769 %	4,956 %	5 %

richtiggehenden Apparates. Der von Abbe berechnete wahrscheinliche Wert des Fehlers stellt in diesem Sinne den geringsten überhaupt erreichbaren Wert dar. Mangelhafte Konstruktionen der Instrumente können und müssen diesen wahrscheinlichen Fehler größer werden lassen, aber auch die vollkommenste Konstruktion kann ihn niemals unter den angeführten Wert herabsetzen. Von diesen Erwägungen ausgehend, behaupten Lyon und Thoma, daß die Leistungen des hier beschriebenen Apparates so genau sind, als sie überhaupt von einem der Blutkörperchenzählung dienenden Instrument erwartet werden können, und daß weitere Verbesserungen des Apparates wohl die Bequemlichkeit der Handhabung noch weiter erhöhen können, als es durch diesen Apparat bereits geschehen ist, aber niemals die Genauigkeit der zu erzielenden Resultate. (Siehe dagegen die Kritik von S. 28 an.)

Die empirische Vergleichung von fünf verschiedenen Zählapparaten führte zu dem Resultate, daß die Verschiedenheiten der einzelnen Apparate unter sich praktisch bedeutungslos sind. Sie wurden in allen Fällen kleiner, und zwar meistens viel kleiner als 1 % erfunden, also kleiner als der wahrscheinliche Fehler einer technisch vollkommenen Zählung von 5000 Zellen.

Die bisherigen Angaben beziehen sich zumeist auf Zählungen in einer konstanten Blutmischung. Um auch die Leistungsfähigkeit der Methode zu zeigen, wenn jedes Mal das Blut frisch entzogen und verdünnt wird, sei ein Teil der Versuchsresultate mitgeteilt, welche J. F. Lyon[1]) bei Zählungen in seinem eigenen, der Fingerbeere entnommenen Blute bei Berücksichtigung von jeweils etwa 5000 Körperchen gewonnen hat. Das Blut wurde vormittags um 11 Uhr entzogen, nachdem um 7 Uhr ein Frühstück vorangegangen war.

Versuchstag	Zahlen der roten Blutkörperchen im cmm Blut in Millionen	Körpergewicht nach Abzug der Kleidung in kg
1.	5,34	82,6
4.	5,63	82,2
5.	5,29	82,2
6.	5,54	82,6
7.	5,21	82,7
8.	5,50	82,4
9.	5,60	82,7

[1]) J. F. Lyon, Lit.-Verzeichnis 1881, 2, S. 214.

Das Mittel beträgt 5,44 Millionen, die Summe der Fehlerquadrate $\Sigma d^2 = 1607$, demnach der mittlere Fehler jeder einzelnen Zählung

$$fm = \pm \sqrt{\frac{1607}{6}} = \pm 16{,}4 \text{ Zellen}$$

oder 3,0 %, der wahrscheinliche Fehler 2,0 %. Der mittlere Fehler des Mittelwertes ergibt sich zu

$$Fm = \pm \sqrt{\frac{1607}{7 \cdot 6}} = \pm 6{,}2 \text{ Zellen}$$

oder 1,1 %, der wahrscheinliche Fehler zu 0,7 %.

E. Reinert[1]) hat die bisherigen Methoden und besonders die einzelnen Phasen der Thomaschen Methode einer sehr eingehenden Besprechung und Prüfung unterzogen; er hält die Mischpipette für besser als getrennte Pipetten, die Hayemsche Lösung (S. 15) für geeigneter zur Verdünnung des Blutes als die 3 %-ige Kochsalzlösung und besser als die Pacinische (S. 15) und Mayetsche Lösung (S. 18), die Aufbewahrung der Blutmischung in der Mischpipette für längere Zeit nicht ratsam. Reinert weist ferner auf die schon von Esbach und Malassez diskutierte leicht eintretende Entmischung des verdünnten Blutes hin, bedingt dadurch, daß die roten Blutkörperchen spezifisch schwerer als die Verdünnungsflüssigkeit sind. Als den delikatesten Punkt der ganzen Methode bezeichnet Reinert die Füllung der Kammer unter Erzeugung der Newtonschen Streifen. Bequemer als ganze Vertikalreihen von Quadraten zu zählen, erscheint Reinert die Zählung Quadrat für Quadrat und die Eintragung der ermittelten Zahlen in ein nach Form der Kammerteilung liniiertes Papier.

Um den konstanten Fehler des Thoma-Zeißschen Apparates, der durch Fehler in der Konstruktion bedingt ist, zu finden, hat Reinert eine entsprechende Prüfung durch Auswägung der Mischpipette und durch Bestimmung der Kammerhöhe mit Hilfe des Sphärometers vorgenommen und gefunden, daß der Fehler des Apparates, wie auch der Verfertiger angibt, 1 % nicht wesentlich überschreitet.

Auch die der Thomaschen Methode anhaftenden variablen Fehler hat Reinert bestimmt.

Die Berechnung des Fehlers, der bei einer Blutkörperchenzählung von durchschnittlich 2665 Körperchen in toto begangen wurde, auch wenn das Blut an verschiedenen Tagen untersucht wurde, ergab als mittleren Fehler jeder einzelnen Zählung ± 4,6 %, als wahrscheinlichen Fehler ± 3,1 %. Dieser letztere Gesamtfehler setzt sich zusammen aus dem Fehler, welcher durch Irrungen in der Zählung der Zellen bedingt ist, von ± 0,6 %, aus dem Verteilungsfehler der Zellen im Zählraum von ± 0,6 %, aus dem Fehler, hervorgerufen durch Mängel in der Abgrenzung des zur direkten Durchzählung bestimmten Mischungsquantums, von ± 1,4 % und aus dem Fehler, bedingt durch Schwankungen der Zellenzahl an verschiedenen Tagen und ferner bedingt durch die Art der Blutentnahme und der Blutabmessung, von ± 0,6 %. Der von der Größe der gezählten Zellenmenge unabhängige

[1]) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 21 und 48.

variable Fehler einer Körperchenzählung beträgt also 1,4 + 0,6 = 2,0%. Da bei einer Zellenzahl von 1325 in 200 Quadraten der Fehler 3,3%, bei einer Zellenzahl von 2665 in 400 Quadraten der Fehler doch noch 3,1% betrug, so zieht Reinert den Schluß, daß bei normalem Blut die Zählung von 200 Quadraten bei einer Verdünnung von 1:200 ein dem erreichbaren Grade von Genauigkeit schon sehr nahe kommendes Resultat zu liefern imstande ist. Was Genauigkeit und Zuverlässigkeit betrifft, so erkennt Reinert der Thoma-Zeißschen Methode unter allen andern damals bestehenden den Vorrang zu.[1][2])

Um die etwas heikle Zusammensetzung der Kammer sicherer zu ermöglichen, bringt W. Türk[3]) von der reinen Verdünnungsflüssigkeit (Hayems Lösung), welche sich vor dem Ausblasen in der Meßkapillare der Mischpipette befindet, auf zwei entgegengesetzte Ecken der Deckglasunterlage je ein kleinstes Tröpfchen. Dann bläst er 5 oder 6 Tropfen heraus und gibt, nachdem er die Spitze der Kapillare rasch abgewischt hat, den nächsten Tropfen auf die Zählfläche. Darauf nimmt er das gereinigte Deckglas zwischen Zeigefinger und Daumen der rechten Hand, führt einen Finger der linken Hand an die linke Kante des Deckglasträgers und legt, gestützt von diesem Finger, die linke Kante des Deckglases dort auf. Nun senkt er mit den Fingern der rechten Hand die rechte Kante des Deckglases langsam so weit, bis seine Mitte die Kuppe des Tropfens der Blutmischung berührt, und läßt jetzt erst das Deckglas vollständig fallen. Nun drückt er vorsichtig das Deckglas im Bereich des Deckglasträgers fest an, so daß an allen Stellen, wo sich nicht Zählflüssigkeit in kapillarer Schichte ausgebreitet hat, Newtonsche Streifen erscheinen. Durch kapillare Attraktion ist dann gewöhnlich das Deckglas sehr fest auf der Unterlage fixiert.

E. Meyer und H. Rieder[4]) verfahren im Anschluß an Versuche des Verfassers[5]) bei der Zusammensetzung der Kammer so, daß sie das Deckglas nur halb auf die Kammer auflegen, die Blutmischung durch Kapillarität in den Zählraum eindringen lassen und dann das Deckglas vollends aufschieben.

Ein heißer Streit ist um die Thoma-Zeißsche Methode entbrannt, als es sich darum handelte, mit ihr genaue Zählungen der roten Blutkörperchen im Hochgebirge vorzunehmen. Der Streit wurde im Anschluß an Versuche von F. Miescher und seiner Schule ausgelöst.

Für derartige Zählungen hatte zunächst F. Miescher[6]) die Mischpipette[7]) durch folgende Änderungen zu verbessern sich bemüht. Statt der gebräuchlichen Zehnteilung wurden an der Meßkapillare nur 3 Hauptteilstriche für die entsprechenden Verdünnungen angebracht (Fig. 19). Dafür wurde beiderseits von jedem Teilstrich (für den der Kugel zunächst gelegenen nur unterhalb) ein kurzer Hilfsteilstrich in solcher Entfernung vom Hauptstrich

---

1) Sehr eingehend behandelt Reinert von S. 72 seiner Arbeit ab die Umstände, welche Einfluß auf die Erythrozytenzahl haben.

2) Über weitere Fehlerberechnung siehe Student, Lit.-Verzeichnis 1908, 5.

3) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 70.

4) E. Meyer und H. Rieder, Lit.-Verzeichnis 1907, 3, S. 8.

5) S. 57 dieses Beitrages.

6) F. Miescher, Lit.-Verzeichnis 1893, 1.

7) Über weitere Kritiken und Verbesserungen der Mischpipette siehe S. 43.

zugefügt, daß dadurch genau $^1/_{100}$ des gesamten Volumens der Kapillare abgegrenzt wurde. Falls es daher nicht gelingt, rasch genug ohne Gefahr der Gerinnung die Blutsäule durch Hin- und Herneigen, Abstreichen der Spitze usw. haarscharf auf den Teilstrich einzustellen, so kann die kleine Abweichung geschätzt werden. Um die wegen der Parallaxe an der dickwandigen Kapillare entstehende Unsicherheit der Einstellung zu beseitigen, wurden die Hauptstriche als Ringmarken beiderseits bis an die Grenze des Milchglasstreifens gezogen. Man braucht daher nach erfolgter Füllung nur die Pipette zwischen den Fingern etwas zu drehen und die gegenüberliegenden Hälften der Ringmarke für sein Auge zur Deckung zu bringen, um den richtigen Stand der Blutsäule zu erkennen. Das bisher matt gehaltene, konisch zugeschliffene untere Ende der Meßkapillare wurde poliert, um feststellen zu können, daß keine Retraktion der Blutsäule stattgefunden hat. Das obere mit dem Kautschukschlauch verbundene Ansatzrohr wurde zur Erleichterung der Reinigung und zur Vermeidung unnützen Widerstandes etwas weiter gemacht und außerdem der Mündung eine zugespitzte Form gegeben, so daß aus ihr statt aus der Meßkapillare das Tröpfchen der Blutmischung für die Zählkammer entnommen werden kann.

Bei vergleichenden Versuchen fand J. Karcher bei je 12 Melangeurfüllungen mit darauffolgender Zählung von ca. 900 Zellen den wahrscheinlichen Fehler mit dem bisherigen Melangeur zu 1,66% (größte Abweichung vom Mittel 3,75%), mit dem neuen Melangeur zu 0,69% (größte Abweichung vom Mittel 2,03%). Als länger, 2—3 Minuten lang, unter Vermeidung von Schaumbildung gemischt wurde, ergab sich E. Veillon in 12 Füllungen mit Zählung von durchschnittlich 1100 Zellen ein wahrscheinlicher Fehler von 0,38% des Mittels (größte Abweichung 0,89%).

Im Gegensatz dazu kommt M. Lederer[1]) zu dem Resultate, daß der Mieschersche Melangeur gegenüber dem Thoma-Zeißschen keine Verbesserung darstellt, was in dieser absprechenden Form nicht richtig ist.

Bei späteren Versuchen mit dem Miescherschen Melangeur, bei denen sich die Hilfsteilstriche als entbehrlich erwiesen, bei denen aber die Deckglasunterlage der Zählkammer und das Deckglas selbst größer gewählt wurden als beim Thoma-Zeißschen Apparat, erhielten S. Karcher und E. Veillon[2]) die gleichen guten Resultate wie früher. Dabei konstatierte Karcher auch noch, daß sich die Mischung des Blutes in einer weiten Kochflasche und die Übertragung des gemischten Blutes in die Zählkammer mit Hilfe einer Tropfpipette ebensogut vornehmen läßt als mit dem Melan-

Fig. 19. Blutmischpipette nach F. Miescher (nat. Größe).

1) M. Lederer, Lit.-Verzeichnis 1895, 2, S. 111.

2) F. Egger, J. Karcher, F. Miescher, F. Suter und E. Veillon, Lit.-Verzeichnis 1897, 1, S. 443 und 445.

geur. F. Suter (S. 445) fand ferner, daß verschiedene Melangeure sehr gut miteinander übereinstimmende Resultate lieferten. In länger durchgeführten Versuchsreihen an seinem eigenen Blute zeigte Karcher (S. 447), daß sein Blutkörperchengehalt recht konstant blieb; so betrug an den ersten 7 Versuchstagen der mittlere Fehler jeder einzelnen Zählung nur 1,6% des Mittelwertes, Suter (S. 447) erhielt sogar noch bessere Resultate. Viel weniger genau als am Menschen ließen sich an Kaninchen mit derselben Methodik die Zählungen vornehmen (S. 449).

Auch A. Kündig[1]) erhielt mit dem Miescherschen Melangeur ähnlich gute Resultate wie Karcher.

Beim Miescherschen Melangeur sind durch die genannten Verbesserungen einige Mängel der Thoma-Zeißschen Mischpipette beseitigt, aber nicht alle (siehe S. 43 dieses Handbuches).

Der Streit über die Brauchbarkeit der Thoma-Zeißschen Methode bei Versuchen im Hochgebirge bezog sich aber weniger auf die Mischpipette als auf die Zählkammer.

Zunächst trat A. Gottstein[2]) mit der Behauptung auf, daß die Zählkammer abhängig vom Luftdruck sei, indem selbst bei einer konstanten Blutmischung die ermittelte Zahl der Blutkörperchen sich umgekehrt proportional wie der auf der Kammer lastende Druck verhalte. Versuche im pneumatischen Kabinett führten zu dieser Behauptung; dort konnte direkt beobachtet werden, wie in der gefüllten Kammer bei Änderungen des Luftdruckes Verschiebungen der zu zählenden Elemente eintraten und wie auch eine in der Kammer befindliche Luftblase entsprechende Volumensänderungen zeigte. Auch G. Schroeder[3]) konnte bei Zählungen im pneumatischen Kabinett eine Abhängigkeit des Zählresultates vom Luftdrucke nachweisen. Auch eine Abhängigkeit des Zählresultates von der Temperatur fand Gottstein[4]) derart, daß bei einer Temperaturerhöhung von 10 auf 35—40° C die Blutkörperchenzahlen um 8—12% größer wurden. Dieses letztere Resultat ist schwer verständlich (siehe S. 41 u. 42 dieses Handbuches).

Sehr eifrig haben sofort E. Meißen und G. Schroeder[5]) Gottstein sekundiert. Schroeder fand schon in Hohenhonnef im Meißenschen Sanatorium, 236 m über dem Meere, einen höheren Blutkörperchengehalt als andere Autoren in tiefer gelegenen Orten; dabei behauptet Schroeder, daß seine Zählungen, bei denen nur 200 Quadrate berücksichtigt wurden, mit einem Fehler von nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ % behaftet gewesen seien, was schwer zu begreifen ist. Thoma, Lyon und Reinert, sehr geübte Beobachter, waren bescheidener, indem sie den Fehler selbst bei Zählungen von doppelt soviel Quadraten zu 3% ansetzten. In der Arbeit von Meißen und Schroeder ist (S. 612) zur Demonstration der Abhängigkeit des Blutkörperchengehaltes vom Luftdruck eine vielfach zitierte, zuerst von Koeppe aufgestellte Tabelle enthalten, welche hier, um zwei Angaben erweitert, mitgeteilt sei.

---

1) A. Kündig, Lit.-Verzeichnis 1897, 7, S. 3.
2) A. Gottstein, Lit.-Verzeichnis 1897, 4.
3) G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1897, 8, S. 819.
4) A. Gottstein, Lit.-Verzeichnis 1898, 7, S. 466.
5) E. Meißen und G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1897, 3.

Untersucher	Ort der Untersuchung	Höhe über dem Meere in m	Zahl der roten Blutkörperchen im cmm Blut in Millionen
Laache	Christiania	—	4,97
Schaper	Göttingen	148	5,23
Schroeder	Hohenhonnef	236	5,33
Reinert	Tübingen	314	5,32
Bürker	Tübingen	314	5,25
Stierlin	Zürich	412	5,75
Wolf	Auerbach i. V.	425	5,75
Schroeder	Görbersdorf	561	5,80
Wolf	Reiboldsgrün	700	5,97
Schauman	Dowrefjall	950	6,11
Kündig	Davos	1560	6,55
Egger	Arosa	1800	7,00
Bürker	Schatzalp	1865	5,43
Viault	Cordilleren	4392	8,00

Die Annahme, daß die Thoma-Zeißsche Zählkammer sich dem Luftdrucke gegenüber wie ein Aneroidbarometer verhält, hat nun E. Meißen zur Konstruktion einer neuen Zählkammer veranlaßt.

9. Die Methode von E. Meißen mit der Schlitzkammer (1898)[1].

Das Instrument (Fig. 20), die sogenannte Schlitzkammer, ist eine nur wenig modifizierte Thoma-Zeißsche Kammer. Um den Binnenraum dieser Kammer auch nach ihrer Zusammensetzung mit der umgebenden Luft in Verbindung zu bringen, ist eine schmale und seichte Rinne R in der Richtung eines verlängerten Durchmessers der Zählfläche in die Deckglasunterlage W eingeschliffen. Später wurden zwei[2]) und dann sogar vier Rinnen[3]), an jeder Seite eine, angebracht. Durch diese Schlitze ist es unmöglich gemacht, daß im Innern der Kammer ein anderer Luftdruck herrscht als außen.

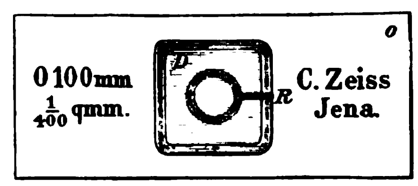


Fig. 20.
Schlitzkammer nach E. Meißen.
(⅔ natürl. Größe.)

G. Schroeder[4]) hat nun mit der alten und neuen Kammer vergleichende Zählungen an Versuchspersonen in Hohenhonnef bei Luftdruckschwankungen von 717,2 bis 760,5 mm Hg angestellt mit dem Ergebnis, daß, je geringer der Luftdruck war, eine um so größere Differenz in den Zählresultaten der alten und neuen Kammer sich ergab, daß aber gerade bei dem Luftdrucke von 760 mm Hg eine nennenswerte Differenz nicht mehr be-

1) E. Meißen und G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1898, 4, S. 112.
2) F. Starcke, Lit.-Verzeichnis 1898, 6.
3) E. Meißen, Lit.-Verzeichnis 1899, 2, S. 530.
4) E. Meißen und G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1898, 4, S. 112.

stand, ein kaum verständliches Resultat. Später fand Schroeder[1]) bei Versuchen in dem höher gelegenen Görbersdorf, daß auch die Schlitzkammer dort eine Vermehrung anzeigte, die aber kleiner war als die früher mit der alten Kammer am gleichen Orte nachgewiesene. W. Römisch[2]) dagegen fand in Arosa mit der alten Kammer und mit der Schlitzkammer ungefähr gleich hohe Werte.

Um nun dem Einwande zu begegnen, daß die Verhältnisse im Hochgebirge ganz anders liegen als im pneumatischen Kabinett, indem dort ja nicht die Zählkammer bei hohem Druck zusammengesetzt und bei niederem Drucke ausgezählt wird, sondern Zusammensetzung und Auszählung bei gleichem Drucke erfolgen, hat A. Gottstein[3]) auch noch Versuche derart angestellt, daß er sich ein konstante Aufschwemmung von frischen Hefezellen in 5 %-iger Formalinlösung bereitete und dann vergleichende Zählungen in Berlin und im Riesengebirge vornahm, wobei sich bei einer Höhendifferenz von 1235 m eine Zunahme der Zellen um 27 % in der Höhe ergab. Auch dieses Resultat ist schwer zu verstehen.

E. Meißen[4]) hat daher noch weitere Momente zur Erklärung herangezogen. Nach ihm sollen die Newtonschen Farbenringe über der Deckglasunterlage beweisen, daß das Deckglas mit einer gewissen Spannung aufliegt, und zwar so, daß es in der Mitte, wo es am nachgiebigsten ist, etwas tiefer steht als am Rande. Diese Konkavität soll durch den Zug der kapillaren Flüssigkeitsschicht, welche sich zwischen Deckglas und Zählnetz befindet, vermehrt werden.

Meißen führt in diesem Zusammenhange folgenden Versuch an. Taucht man eine Glaskapillare von 20 cm Länge und 0,5 mm Lumen, die an dem einen Ende zugeschmolzen, an dem andern Ende aber offen ist, mit diesem Ende in Wasser, so steigt dieses 2—3 mm hoch in die Kapillare ein, was einem Überdrucke von etwa $\frac{1}{100}$ Atmosphäre entsprechen würde. Auch in der Absorption von Sauerstoff durch die Blutmischung sieht Meißen ein Moment, welches im Innern der geschlossenen Zählkammer andere Druckverhältnisse erzeugt als außerhalb.

Wider diese Spekulationen zieht K. Turban[5]) zu Feld. Gegen die Meißensche Auffassung spricht ihm der Umstand, daß neben der Blutkörperchenvermehrung im Hochgebirge eine Hämaglobinzunahme einhergeht, bei deren Ermittlung der Luftdruck eine Rolle nicht spielen kann. Um zu entscheiden, ob durch Attraktion des Deckglases das Zählresultat beeinflußt werden kann, hat Turban durch Sokolowski, Kündig und Karcher vergleichende Zählungen unter Verwendung eines dünnen und dicken Deckglases in Davos (1600 m) und in Basel (625 m) mit der Thoma-Zeißschen Kammer und mit der Meißenschen Schlitzkammer vornehmen lassen, wobei gefunden wurde, daß das Deckglas keinen Einfluß ausübt und daß die alte Kammer vom Luftdruck unabhängig ist, wenn dieser sich nicht

1) G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1898, 5, S. 1333.
2) W. Römisch, Lit.-Verzeichnis 1899, 3, S. 246.
3) A. Gottstein, Lit.-Verzeichnis 1899, 4, S. 1299.
4) E. Meißen, Lit.-Verzeichnis 1899, 2, S. 531.
5) K. Turban, Lit.-Verzeichnis 1899, 1.

während des Versuches verändert. Die Meißensche Schlitzkammer stellt daher nach Turban eine Verbesserung ebensowenig dar wie die Verwendung ganz dicker Deckgläser.

Von G. Schroeder[1]) erhobene Einwände, daß wohl bei diesen Versuchen gezählt wurde, ohne Newtonsche Streifen zu erzeugen, weist Turban[2]) als völlig unberechtigt zurück.

Aus dieser Arbeit von Schroeder und auch aus früheren Äußerungen von Meißen geht hervor, daß diese Autoren sich wohl im Anschluß an den bekannten Versuch mit dem Newtonschen Farbglas[3]) falsche Vorstellungen über das Zustandekommen der farbigen Streifen am Kammerrande gebildet haben; von farbigen Ringen, wie bei dem Newtonschen Versuch mit der Bikonvexlinse, ist nichts zu sehen, sondern doch nur von Streifen.

Noch einmal greifen Gottstein und Schroeder[4]) in den Streit ein. In Berlin (50 m) stellte Gottstein, in Schömberg (650 m) Schroeder eine Blutmischung mit Hayemscher Lösung her, welche selbst nach mehrwöchentlichem Alter fast unverändert gefunden wurde, was Verfasser auf Grund seiner Erfahrungen bezweifeln muß. Jeder der Autoren zählte seine gut verwahrte Blutmischung, wobei alle Zählbedingungen erfüllt wurden; oftmals waren 8—10 Präparate zu verwerfen, bis eines tadellos war. Dann sandten sich die Autoren gegenseitig ihre Blutmischungen und Zählinstrumente zu, zählten wieder und tauschten aber ihre Resultate erst nach Abschluß des jedesmaligen Experimentes aus. Das Resultat war, daß mit der alten Kammer in Schömberg höhere Werte gefunden wurden als in Berlin, mit der Schlitzkammer dagegen nicht, die Zählresultate stimmen aber unter sich recht schlecht überein.

Ein anderes Resultat erhielt C. F. Meyer[5]), der an einer konstanten Hefezellenmischung in Davos und Basel Zählungen mit der alten Kammer und der Schlitzkammer vornahm und mit beiden Kammern oben und unten zu gleichen Werten kam. Wer hat nun recht?

Gegen die Einwände von Meißen, Gottstein und Schroeder spricht indirekt eine schon im Jahre 1898 sehr sorgfältig durchgeführte Versuchsreihe von O. Schauman und E. Rosenqvist[6]), welche Autoren Tiere längere Zeit einem stark verminderten Luftdruck aussetzten und als Beweis für den Neubildungsprozeß in den hämatopoetischen Organen Erythroblasten im Blute auftreten sahen. An diesen Versuchsresultaten können auch die antikritischen Bemerkungen von Meißen[7]) nichts ändern, denn, wie Schauman und Rosenqvist hervorheben, kann eben Meißen mit seiner Theorie die konstatierte allmähliche Zunahme der roten Blutkörperchen nicht erklären, noch weniger die Zunahme des Hämoglobingehaltes.

1) G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1899, 5.
2) K. Turban, Lit.-Verzeichnis 1900, 7.
3) Siehe O. Lummer, Die Lehre vom Licht, in Müller-Pouillet-Pfaundlers Lehrb. der Physik und Meteorol., 9. Aufl., Bd. 2, Abt. 1, S. 902. Verlag von F. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1897.
4) A. Gottstein und G. Schroeder, Lit.-Verzeichnis 1900, 8.
5) C. F. Meyer, Lit.-Verzeichnis 1900, 6.
6) O. Schauman und E. Rosenqvist, Lit.-Verzeichnis 1898, 2, ferner 1900, 3 und 4.
7) E. Meißen, Lit.-Verzeichnis 1900, 5.

In den nächsten Jahren setzte eine genauere physikalische Untersuchung der Thoma-Zeißschen Kammer ein.

Zunächst hat J. Gaule[1]) die Abhängigkeit der Kammer vom Luftdruck direkt geprüft, indem er 1. Quecksilber, das keine Adhäsion zum Glase hat, 2. eine durch Auskochen von Gas befreite Nigrosinlösung, welche Adhäsion zum Glase hat, und 3. Blutmischung, wie beim Zählen, in die Kammer brachte, diese auf ein Mikroskop legte, über beide eine Glasglocke stülpte, durch die hindurch mikroskopiert werden konnte, und nunmehr bei normalem und etwa halb so großem Luftdrucke beobachtete, ob die Größe der Tropfen eine Veränderung erfuhr. Verhielt sich die Kammer wie ein Aneroidbarometer, so mußten die Tropfen bei vermindertem Luftdruck kleiner, bei erhöhtem größer werden. Zugleich wurde der Temperaturabfall bei Verminderung des Luftdruckes in Rechnung gezogen. Wenn auch die Versuchsresultate, die noch durch direkte Zählungen der Blutkörperchen bei verschiedenem Drucke ergänzt wurden, nicht ganz eindeutig waren, so ergab sich doch im allgemeinen eine Unabhängigkeit vom Luftdruck; dabei wird angenommen, daß beim Vorhandensein Newtonscher Streifen der Kammerraum hermetisch abgeschlossen ist.

Diese Versuche hat W. Brünings[2]) noch genauer fortgesetzt; er diskutiert zunächst die Meißenschen Einwände und weist darauf hin, daß der Fehler der Kapillarattraktion, den Meißen gerügt hat, in der Meißenschen Schlitzkammer ebenso zur Geltung kommt wie in der Thomaschen Kammer. Berechnung und Versuch ergaben aber Brünings das Resultat, daß Oberflächenspannung + Molekularattraktion im Kampfe gegen den elastischen Widerstand des Deckglases völlig unterliegen und daß auch der Luftdruck, wie er auf der Erde schwankt, an der Konstanz der Thomaschen Kammer wenig ändern kann. Er konstatierte ferner, daß, wenn nur einmal Newtonsche Farbstreifen vorhanden sind, die Kammerhöhe praktisch die gleiche bleibt, ob nun die Streifen schmal oder breit sind, und ob sie trocken oder feucht erzeugt werden. Brünings hat schließlich die Resultate der erörterten Gauleschen Versuche bestätigt und sie noch dadurch erweitert, daß er vergleichende Zählungen an einer konstanten Blutmischung mit der alten Kammer und der Schlitzkammer im Züricher physiologischen Institut und auf dem 500 m höheren Ütliberg vornahm. Zählfehler wurden durch photographische Aufnahmen der gefüllten Kammern und durch Auszählung der Photogramme möglichst vermieden. Die von Meißen und seinen Anhängern behauptete Abhängigkeit der Zählkammer vom Luftdruck konnte Brünings nicht bestätigen.

Daß Brünings so Behauptung gegen Behauptung stellen muß, scheint ihm nur dadurch erklärlich, daß eben die Thoma-Zeißsche Kammer nicht das genaue Zählinstrument ist, für das man es im Anschluß an die Abbeschen Deduktionen gehalten hat; eine Reihe von Zählungen, bei denen die Kammer oft 8—10 mal zusammengesetzt werden mußte, um allen Anforderungen zu genügen, haben ihm dieses Resultat ergeben.

---

1) J. Gaule, Lit.-Verzeichnis 1902, 1, S. 142.
2) W. Brünings, Lit.-Verzeichnis 1903, 1, S. 378.

Auf einen Kardinalfehler, der auch schon von andern Autoren[1]) erörtert und von E. Reinert[2]) als der delikateste Punkt der ganzen Zählmethode bezeichnet wurde, weist Brünings[3]) noch ganz besonders eindringlich hin.

Wenn man nämlich einen Tropfen der Blutsuspension auf die Zählfläche setzt und das Deckgläschen auflegt, so drückt dieses den Tropfen in die Breite derart, daß seine Grundfläche etwa viermal so groß wird. Dabei machen die ursprünglich in der Mitte des Tropfens gelegenen Blutzellen keine seitliche Bewegung, die ursprünglich am Rande gelegenen aber werden um den Betrag der Verbreiterung des Tropfens verschoben. Man sieht, daß so eine von der Mitte zum Rande abnehmende Dichte in der Verteilung der Blutzellen resultieren muß, was Brünings auch auf Mikrophotogrammen nachweisen konnte.

In viel höherem Grade aber wirkt nach Brünings ein anderer Umstand in der gleichen Richtung. Wenn man nämlich 200-fach mit Hayemscher Lösung verdünntes Blut in ein Glasröhrchen füllt und dieses senkrecht aufstellt, so findet man nach Verlauf von einer Stunde etwa die obersten 2 cm der Flüssigkeit klar, d. h. ein Blutkörperchen senkt sich in Hayemscher Lösung um ca. 2 cm pro Stunde. Nun sei ein auf die Zählfläche gebrachtes Tröpfchen der Blutmischung schätzungsweise 0,5 mm hoch, und es mögen 10 Sekunden verstreichen, bis es durch das Deckglas platt gedrückt wird, dann besteht vor diesem Moment das Tröpfchen aus drei Schichten; alle Blutkörperchen, welche ursprünglich nicht weiter als ca. 0,06 mm vom Boden entfernt waren, sind zu Boden gesunken, über ihnen steht eine Schicht normaler Mischung von ca. 0,38 mm Höhe, und dann folgen die obersten 0,06 mm ohne Blutkörperchen. Somit hat nach 10 Sekunden die über dem Boden der Kammer stehende Flüssigkeit ca. 12 % ihrer Blutkörperchen verloren, und dieser Fehler addiert sich ganz zu dem durch die ungleiche Verschiebung erzeugten hinzu, falls die auf dem Boden liegenden Blutkörperchen an der späteren Bewegung nicht mehr teilnehmen.

Brünings hatte diese Fehlerquelle schon länger vermutet, er war aber überrascht, wie leicht der faktische Nachweis gelang. Man beschicke eine Zählkammer mit dem 200-fach verdünnten Blut und warte bis zum Auflegen des Deckglases 30 Sekunden. Dann betrachte man die Kammer in der Durchsicht, am besten gegen einen schwach beleuchteten Hintergrund. Es zeigt sich ein stark getrübter Kreis, der ursprünglichen Basis des Tröpfchens entsprechend, und eine schwach getrübte periphere Zone an Stelle der späteren Ausbreitung der Flüssigkeit. Man wiederhole den Versuch mit einer Wartezeit von 10 Sekunden, wie man sie bei sorgfältiger Anfertigung von Zählpräparaten oft nötig hat, und wird auch jetzt, und zwar makroskopisch, die ungleiche Verteilung wahrnehmen können.

Im Mikroskop fällt dies alles nicht auf, weil die Übergänge der verschieden dichten Verteilung im mikroskopischen Gesichtsfelde zu allmähliche sind. Auch hier zeigt die Mikrophotographie den Fehler recht drastisch.

Eine optische Interferenzmethode hat Verfasser zur Prüfung der Zähl-

1) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1880, 3a, S. 390.
2) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 35 und 38.
3) W. Brünings, Lit.-Verzeichnis 1903, 1, S. 399.

kammer verwendet; diese Methode erlaubt eine viel genauere und dabei leichter durchzuführende Prüfung als die bisher benutzten Methoden.

Bei einer vorangegangenen Untersuchung über die Verteilung der roten Blutkörperchen auf der Zählfläche konnten zunächst die Brüningsschen Angaben vollauf bestätigt werden, die Füllung der Zählkammer ist in der Tat der delikateste Punkt der ganzen Thoma-Zeißschen Methode; das geht aus folgendem Versuch hervor[1]).

Die Kammer wurde in einer Versuchsreihe sofort nach dem Aufbringen des Tröpfchens der Blutmischung (Rattenblut, ungefähr 1:200 mit Hayemscher Lösung verdünnt) auf den Kammerboden mit dem Deckglase bedeckt und dann Newtonsche Streifen erzeugt. In der andern Versuchsreihe geschah die Bedeckung und Erzeugung der Streifen erst eine Minute später. Gezählt wurde über der ganzen Zählfläche in folgender Weise. Ins Okular kam ein scharfrandiges Diaphragma, das bei bestimmter Tubuseinstellung eine Fläche von ungefähr $\frac{1}{400}$ qmm abgrenzte. Dann wurde die Kammer entlang des transversalen Durchmessers des Kammerbodens von einem Rande zum andern unter dem Objektiv vorbeigeschoben, wobei immer nach einer Verschiebung um $^1/_2$ mm die in der abgegrenzten Fläche gelegenen roten Blutkörperchen gezählt wurden. In gleicher Weise wurde eine Zählung entlang des sagittalen Durchmessers vorgenommen. Die folgende Tabelle enthält das Resultat der Zählung.

Zählungen in derselben Blutmischung.

	Nr. der Zählung	Mittelwert in $\frac{1}{4000}$ cmm	größte Abweichung vom Mittel	Mittlerer Fehler jeder einzelnen Zählung	mittlerer Fehler des Mittelwertes
Kammer sofort zusammengesetzt	1.	11	— 4, + 3	± 2	± 0,5
	2.	11	— 5, + 4	± 3	± 0,8
	3.	13	— 6, + 5	± 3	± 0,7
	4.	12	— 3, + 6	± 3	± 0,8
	5.	12	— 7, + 8	± 4	± 0,9
	6.	13	— 6, + 4	± 3	± 0,8
Kammer nach 1 Minute zusammengesetzt	1.	15	— 12, + 11	± 7	± 1,7
	2.	17	— 12, + 11	± 9	± 2,1
	3.	17	— 17, + 19	± 11	± 2,6
	4.	18	— 17, + 14	± 10	± 2,5
	5.	17	— 14, + 10	± 9	± 2,1
	6.	18	— 15, + 18	± 10	± 2,3

Die Berechnung des Gehaltes von 1 cmm Blut ergäbe im ersten Falle bei einem Mittelwerte von 12 9,60 Millionen rote Blutkörperchen, im zweiten Falle dagegen bei einem Mittelwerte von 17 13,60 Millionen, also eine Differenz von etwa 42 %. Ein geübter Untersucher wird freilich nicht erst nach einer Minute das Deckglas auflegen, es muß aber einmal deutlich vor Augen geführt werden, an welchem Fehler die Kammer besonders krankt, macht sich doch der Fehler auch schon nach 10 Sekunden bemerkbar, wie Brünings beobachtet hat. Auch S. Adachi[2]) und F. Bloch[3]) fanden neuerdings, daß die Thoma-Zeißsche Kammer leicht zu hohe Werte angibt.

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 489.
2) S. Adachi, Lit.-Verzeichnis 1912, 6.
3) F. Bloch, Lit.-Verzeichnis 1912, 11.

Dieses rasche Senkungsbestreben der spezifisch schwereren roten Blutkörperchen in der spezifisch leichteren Verdünnungsflüssigkeit ist auch noch abhängig von der Temperatur, wie Verfasser[1]) gefunden hat. In Hayemscher Lösung senkten sich rote Blutkörperchen bei 21,3° C etwa doppelt so rasch als bei 4,3° C.[2])

Direkte Messungen an der Kammer mit Hilfe eines auf 0,001 mm genauen Dickenmessers ergaben Verfasser[3]) ferner die Richtigkeit der Brüningsschen Behauptungen, daß nämlich die Kammerhöhe praktisch die gleiche ist, ob nun die Newtonschen Streifen schmal oder breit sind, ob sie trocken oder feucht erzeugt werden. Bei diesen Messungen wurden die Newtonschen Streifen, wie dies auch schon E. Reinert[4]) empfohlen hat, als außerordentlich feine Indikatoren für die richtige Einstellung des Meßinstrumentes benutzt, da sie bei der geringsten Durchbiegung des Deckglases schon ganz beträchtliche Verschiebungen erleiden. In einem speziellen Falle wurde beobachtet, daß, wenn das Deckglas dem Kammerboden nur um 0,008 mm genähert wurde, ein Farbenstreifen sich um 3 mm, also um das 375 fache, verschob.

Auch aus der Farbe der Newtonschen Streifen[5]) läßt sich beurteilen, ob das Deckglas fest oder weniger fest aufliegt und damit dem Kammerboden mehr oder weniger genähert ist. Schwarze und braune Streifen weisen darauf hin, daß das Deckglas nahezu absolut aufliegt, bei grünen und roten Streifen ist dies nicht der Fall; die Kammerhöhe bleibt aber auch noch in letzterem Falle bei Streifen 3. und 4. Ordnung praktisch die verlangte von 0,100 mm. Drückt man im Bereich der grünen und roten Streifen das Deckglas stärker an, so sieht man diese in braune und schwarze übergehen.

Die zur weiteren, noch genaueren Untersuchung vom Verfasser herangezogene optische Interferenzmethode[6]) beruht auf dem Prinzipe des Fizeau-Abbeschen[7]) Dilatometers.

Wenn man monochromatisches Licht auf die Zählkammer fallen läßt, so finden an der unteren Fläche des Deckglases und an der Zählfläche, die nie absolut parallel zueinander sind, Reflexionen statt. Die reflektierten Strahlen legen verschieden lange Wege zurück, erleiden dabei einen Gangunterschied und interferieren miteinander, was sich aus den abwechselnd dunkeln und gelben Interferenzstreifen ergibt, wenn man z. B. das gelbe Licht der Natriumflamme verwendet. Der Abstand dieser Streifen voneinander ist um so größer, je kleiner der Winkel ist, um welchen die reflektierenden Flächen zueinander geneigt sind, und je größer die Wellenlänge des angewendeten Lichtes ist. Der Abstand ist um so kleiner, je senkrechter das

---

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 490.

2) Interessante Beobachtungen über die Bewegungen der Blutkörperchen bei ihrer Senkung hat A. Schklarewsky (Lit.-Verzeichnis 1868, 1) angestellt.

3) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 490.

4) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 46.

5) Siehe F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 10. Aufl., S. 635. Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1905.

6) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 493.

7) F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 10. Auflage, S. 174. Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1905.

Licht auffällt und je größer der Brechungsexponent der zwischen unterer Fläche des Deckglases und Zählfläche befindlichen Schicht ist.

Ändert sich nun die Schichtendicke, so fangen die Streifen zu wandern an. Die Anzahl der an einer angebrachten Marke vorbeigewanderten Streifen gibt ein Maß für die Änderung der Schichtendicke, und zwar beträgt die Änderung, wenn m Streifen vorbeigewandert sind und die Wellenlänge des angewendeten Lichtes λ ist, $\frac{m \cdot \lambda}{2}$, für Natriumlicht $m \cdot \frac{589 \cdot 10^{-6}}{2}$ mm, rund $m \cdot 0{,}0003$ mm. Die Genauigkeit der Messung beträgt, da sich $^1/_{10}$ der Streifenbreite meist schätzen läßt, ca. 0,00003 mm.

Für sehr genaue Messungen müssen noch der Luftdruck und die Temperatur berücksichtigt werden, denn die Wellenlänge und damit der Streifenabstand nimmt zu, wenn der Brechungsexponent abnimmt, und dieser nimmt ab bei zunehmender Temperatur und abnehmendem Druck. Da es aber für unsere Zwecke nur darauf ankommt, zu entscheiden, ob die dritte Dezimale Veränderungen erleidet oder nicht, denn die Kammerhöhe ist nur auf 0,001 mm genau definiert, so ist eine Korrektur unnötig.

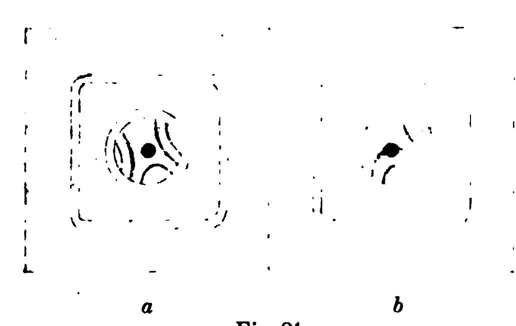


Fig 21.
Interferenzstreifen über der Zählfläche
a vor \} dem Eindringen von Wasser zwischen
b nach \} Deckglas und Unterlage
nach K. Bürker.

Die Versuchsanordnung ist folgende. Mit Hilfe eines durchbohrten, schwach konkaven Spiegels, wie er zum Instrumentarium des Augenspiegels gehört, wird das gelbe Licht einer Bunsenflamme, in welche man etwas Kochsalz gebracht hat, auf die mit dem Deckglas bedeckte, aber leere Zählkammer geworfen. Entsprechend der Durchbohrung des Spiegels erscheint im Gesichtsfelde ein als Marke dienender dunkler Punkt, der mitten auf die Zählfläche, über der Interferenzstreifen zu sehen sind, eingestellt wird. Die genauere Betrachtung ergibt, daß Interferenzstreifen verschiedener Ordnung vorhanden sind, man braucht aber nur leicht auf das Deckglas zu drücken, um sofort an der starken Verschiebung der Streifen zu erkennen, auf welche Streifen man zu achten hat.

In dieser Weise untersucht, sahen in einem speziellen Falle [1]) die Interferenzstreifen über der Zählfläche der leer zusammengesetzten Kammer so aus, wie es Figur 21a angibt. Wurde nun an den Deckglasrand ein Tropfen Wasser gebracht und das Wasser zwischen Deckglas und Unterlage durch Kapillarität eingesaugt, so wanderte der dem Untersucher zunächst liegende kleine gebogene Streifen an die Marke, die vorher von einem Streifen nicht berührt worden war, für diesen weggewanderten Streifen erschien ein neuer Streifen. Von den je zwei links und rechts gelegenen Streifen verschwanden die äußeren über den Rand der Zählfläche hinaus, dafür

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 494.

rückten die inneren mehr an den Rand, so daß das Bild Figur 21b entstand. Die Kammerhöhe hatte sich also in der Mitte der Zählfläche beim Eindringen des Wassers noch nicht einmal um die Hälfte der Wellenlänge des Natriumlichtes geändert, also noch nicht einmal um 0,0003 mm.

Sehr leicht läßt sich mit dieser Methode auch prüfen, in welchem Maße sich das Deckglas durchbiegt, wenn entsprechende Drucke auf dasselbe ausgeübt werden.[1])

Von einer in Spitzen laufenden Achse läßt man senkrecht einen nicht zu dicken Messinghebel abgehen, dem in einer Entfernung von 20 mm ein nach abwärts gerichteter Zapfen von ca. 1 qmm Querschnitt angelötet ist. In einer Entfernung von 40 mm von der Achse befestigt man auf dem Hebel ein Metallplättchen, auf welches Gewichte aufgelegt werden sollen. Der Hebel wird nun so eingestellt, daß der nach abwärts gerichtete Zapfen auf die Mitte des der leeren Kammer aufgesetzten Deckglases zu liegen kommt. Entsprechend den Hebelverhältnissen muß der auf das Deckglas ausgeübte Druck dem doppelten Gewichte des auf das Metallplättchen aufgelegten Gewichtes entsprechen. Den wirklichen Druck, der durch das Gewicht des Hebels selbst noch etwas vergrößert wird, kann man mit Hilfe einer Wage ermitteln. Die ganze Anordnung ist deshalb nötig, weil man bei direktem Auflegen der Gewichte auf das Deckglas die Interferenzstreifen nicht beobachten kann.

Bei einem so durchgeführten Versuche, bei welchem ein Deckglas von 0,188 mm Dicke zur Verwendung kam, führte der Druck des Hebels allein von 1,8 g eine Verschiebung der Streifen um eine halbe Streifenbreite herbei, bei einem Drucke von 3,8 g betrug die Verschiebung 3 Streifenbreiten, bei 5,7 g vier Streifenbreiten, d. h. das Deckglas hatte sich in diesem Falle der Zählfläche schon um 0,0012 mm genähert. Bei einem Drucke von 11,8 g fanden so beträchtliche Verschiebungen statt, daß die an der Marke vorbeigewanderten Streifen nicht mehr recht gezählt werden konnten.

Bei Benutzung eines 0,623 mm dicken Deckglases betrug dagegen bei einem Drucke von sogar 41,5 g die Abnahme der Kammerhöhe nur 0,0003 mm. Abgesehen davon, daß die dickeren Deckgläser handlicher sind, und mit ihnen die Newtonschen Streifen auch leichter erzeugt werden können, verdienen sie also auch ihrer viel geringeren Durchbiegbarkeit wegen den Vorzug. Der Druck von 41,5 g, welcher die Kammerhöhe nur um 0,0003 mm zu verkleinern vermochte, würde einer Quecksilbersäule von ca. 3052 mm Höhe und 1 qmm Querschnitt entsprechen, also etwas mehr als dem Vierfachen des Atmosphärendruckes auf 1 qmm Fläche. Auch bei stärkstem Drucke änderte sich die Kammerhöhe nur um ca. 0,004 mm, entsprechend zwölf Streifenbreiten.

Auch der Einfluß des Luftdruckes auf die Zählkammer läßt sich mit dieser Methode viel einwandsfreier feststellen als mit den anderen Methoden.[2]) Zu dem Zwecke bringt man die mit dem Deckglas bedeckte, aber leere Kammer unter den Rezipienten einer Luftpumpe und beleuchtet die Kammer von außen her mit Hilfe des Augenspiegels mit Natriumlicht.

---

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 497.
2) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 497 und 499.

Liegt nun bei einem Luftdrucke von 731 mm Hg ein dünnes Deckglas von 0,188 mm auf und setzt man die Pumpe in Bewegung, so wandern viele Streifen vorbei, und zwar im Sinne einer Verkleinerung der Kammerhöhe, das Deckglas wird also angesaugt. Sowie mit dem Auspumpen aufgehört wird, kehren die Streifen sofort wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Der auf der Kammer lastende Luftdruck betrage jetzt 612 mm Hg entsprechend einer Höhe von 1800 m. Wird nunmehr die Luftpumpe geöffnet, und der ursprüngliche Druck von 731 mm Hg wieder hergestellt, so finden im Momente des Lufteintrittes wieder ganz beträchtliche Verschiebungen der Streifen statt, die Streifen nehmen aber gleich wieder ihre ursprüngliche Lage ein. Wird langsam ruckweise ausgepumpt, so wandern die Streifen, kehren zurück, wandern wieder, kehren wieder zurück und so weiter. Ganz analog verläuft ein Versuch nach Bedeckung der Kammer mit dem 0,623 mm dicken Deckglas, nur daß die Durchbiegungen und damit Änderungen der Kammerhöhe nicht so beträchtlich sind.

So viel geht also aus diesen Versuchen mit aller Bestimmtheit hervor, daß die zusammengesetzte Thoma-Zeißsche Zählkammer abhängig vom Luftdrucke ist, aber nur, sofern sich dieser rasch und um große Beträge ändert. Spielt sich die Luftdruckänderung langsam ab oder erreicht sie nur geringe Werte, so findet ein Ausgleich durch die zwischen Deckglas und Unterlage befindliche kapilläre Schichte hindurch statt, selbst wenn dort Newtonsche Streifen 1. Ordnung vorhanden sind. Der Vergleich der Kammer mit einem Aneroidbarometer ist also unzulässig, die Thoma-Zeißsche Zählkammer ist für die gewöhnlichen Verhältnisse stets eine Schlitzkammer, und es hätte der 1—4 Schlitze, welche Meißen hat anbringen lassen, gar nicht bedurft; immerhin nützen sie der Kammer eher, als daß sie ihr schaden.

Zu demselben Resultate, nämlich zum Nachweis der Unabhängigkeit der Zählkammer vom Luftdrucke, sofern sich dieser nur langsam ändert, führte auch eine vom Verfasser[1]) vorgenommene direkte vergleichende Messung der Höhe der im Tieflande zusammengesetzten und ins Hochgebirge transportierten Kammer. Auf der Reise zur Schatzalp, 1865 m über dem Meere und noch 300 m über Davos gelegen, hat Verfasser am 18. August 1903 in Friedrichshafen am Bodensee (410 m) bei einem Luftdrucke von 759 mm Hg eine Thoma-Zeißsche Zählkammer zusammengesetzt, so daß das Deckglas sehr fest haftete und am Kammerrande ringsum schöne Newtonsche Streifen vorhanden waren, welche skizziert wurden (Fig. 22a). Dann wurde mit Hilfe des Seite 37 erwähnten Dickenmessers die Kammerhöhe bestimmt und unter steter Überwachung der Instrumente die Reise nach der Schatzalp fortgesetzt. Am nächsten Tage nach der Ankunft wurde die Kammerhöhe nach einer Erhebung um 1455 m (Luftdruck 612 mm Hg) gleich groß gefunden, die Interferenzstreifen am Kammerrande hatten nur in der linken unteren Ecke eine geringe Verlagerung erfahren (Fig. 22b), die aber keine in Betracht kommende Änderung der Kammerhöhe veranlaßt haben konnte.

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 500.

Die Abhängigkeit der Zählkammer von raschen Luftdruckschwankungen erklärt auch die von Gottstein (S. 30 dieses Handbuches) im pneumatischen Kabinett beobachteten Erscheinungen. Bringt man dorthin eine gefüllte Zählkammer und pumpt rhythmisch aus, so wird das Deckglas abwechselnd der Zählfläche genähert und wieder von ihr entfernt. Ahmt man diesen Vorgang außerhalb des Kabinetts dadurch nach, daß man auf das Deckglas der gefüllten Kammer rhythmisch einen Druck ausübt und mit dem Drucke wieder nachläßt, so wird man sehen, daß die zuerst gleichmäßig verteilten Blutkörperchen sich in der Mitte der Zählfläche anhäufen, also gerade dort, wo sich das Zählnetz befindet.



Fig. 22.
Interferenzstreifen am Kammerrande
a in Friedrichshafen, 410 m über dem Meere
b auf der Schatzalp, 1865 m über dem Meere
nach K. Bürker.

Über den Einfluß der Temperatur auf die Konstanten der Zählkammer kann man sich gleichfalls mit Hilfe der optischen Interferenzmethode orientieren.[1]) Theoretisch müßte sich die Kammerhöhe bei zunehmender Temperatur vergrößern, es fragt sich nur, ob diese Vergrößerung von Einfluß auf das Zählresultat sein kann. Nimmt man den Ausdehnungskoeffizienten des Glases für 1° C Temperaturdifferenz zu 0,000008 an und die Dicke des Glases der Zählkammer von der unteren Fläche des Objektträgers bis zur Deckglasauflage, wie in einem untersuchten Falle, zu 3,707 mm, die Dicke des Glases bis zur Zählfläche also zu 3,607 mm an, so wird bei einer Erwärmung um 20° der Wert der Kammerhöhe erst in der fünften Dezimale eine Veränderung erleiden, kommt also für das Zählresultat nicht in Betracht. Dabei ist allerdings homogenes Glas vorausgesetzt, was aber in Wirklichkeit nicht zutrifft, denn sowohl Zählplatte wie Deckglasunterlage sind auf den Objektträger aufgekittet.

a *b*

Fig. 23.
Interferenzstreifen über der Zählfläche
a bei 24,8° C *b* bei 44,8° C
nach K. Bürker.

Eine Prüfung mit der optischen Methode ergibt in der Tat einen etwas größeren Wert. Bei der Erwärmung einer Zählkammer von 24,8° C auf 44,8° C fand eine Verschiebung der Interferenzstreifen um eine Streifenbreite im Sinne einer Vergrößerung der Kammerhöhe statt (Fig. 23); die Kammerhöhe hatte also einen Zuwachs um 0,0003 mm erfahren, was praktisch

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 2, S. 496.

nicht ins Gewicht fällt. Die Kammer selbst ist also für gewöhnliche Zwecke unabhängig von der Temperatur.

Es erhebt sich aber die Frage, welchen Einfluß die Temperatur auf die Räumigkeit der Blutmischung und damit auf das Zählresultat haben kann; denn dieselbe Blutmischung wird bei höherer Temperatur und damit eingetretener Ausdehnung durch die Wärme einen größeren Raum einnehmen als bei niederer Temperatur, in dem gleichen Volumen werden also bei höherer Temperatur weniger Blutkörperchen enthalten sein.[1])

Daß diese thermische Ausdehnung der Blutmischung viel mehr ins Gewicht fällt als die des Glases, kann man sehr einfach zeigen. Man sauge in die Mischpipette bis zur Marke 101 Blutmischung und halte den Meniskus dadurch an dieser Stelle fest, daß man den Finger auf die Spitze der Pipette aufsetzt. Geht man jetzt mit der Hand samt Pipette in warmes Wasser ein, so steigt die Blutmischung nicht unbeträchtlich über die Marke hinaus.

Angenommen es werde nun zur Blutverdünnung Hayemsche Lösung benutzt, die zu fast 97 % aus Wasser besteht, und das Blut mit ihr 200-fach verdünnt, so kann sich das Volumen des verdünnten Blutes unter dem Einflusse der Temperatur nicht viel anders als Wasser verhalten. Würde nun dieselbe Blutmischung bei 15, 0 und 30° C gezählt werden, dann würde das Volumen eines Grammes der Mischung bei einer Temperaturänderung von 15 auf 0° C um 0,07 % abnehmen und bei einer Temperaturänderung von 15 auf 30° C um 0,3 % zunehmen, also um so geringe Werte, daß eine in Betracht kommende Änderung der Blutkörperchenzahl in der Volumenseinheit nicht zu befürchten wäre. Man wird außerdem nur selten in die Lage kommen, bei so extremen Temperaturen zu zählen, und wird im allgemeinen auch bei der Temperatur zählen, bei der man verdünnt.

Wie Gottstein zu dem paradoxen Resultate gelangt ist, daß bei höherer Temperatur das Zählresultat beträchtlich höher ausfalle (S. 30), ist nicht recht verständlich.

Abgesehen von der Schwierigkeit der raschen und einwandsfreien Zusammensetzung der Thoma-Zeißschen Zählkammer und von dem Umstande, daß das Instrument abhängig von raschen Luftdruckschwankungen ist, haften ihm auch noch einige andere Fehler an.

Das in die Mitte der Zählfläche eingeritzte Zählnetz ist zu klein, es umfaßt nur 1 qmm, das ist etwa der 50. Teil der gesamten Zählfläche. Ungleichmäßigkeiten in der Verteilung der Blutkörperchen, welche auf einem so kleinen Gebiete leicht vorkommen, zumal wenn man nach der Vorschrift das Tröpfchen der Blutmischung gerade auf das Zählnetz bringt, und sich die Blutkörperchen jetzt senken, können zu ganz falschen Zählresultaten führen.[2])

Auch die vielen auf eine kleine Fläche zusammengedrängten Teilstriche des Zählnetzes wirken nicht günstig auf die gleichmäßige Verteilung der Blutkörperchen. Die eingeritzten Teilstriche stellen geradezu Gräben dar, welche fast so breit sind, als die roten Blut-

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 369.
2) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1905, 6, S. 428.

körperchen breit sind, und in denen daher diese Körperchen beim Ausbreiten der Blutmischung festgehalten werden, was ein zu hohes Zählresultat im Gefolge hat.[1])

Des weiteren ist die Auszählung der unmittelbar aneinandergrenzenden Quadrate bzw. Quadratreihen schwierig und kaum so durchzuführen, daß ein Verzählen ausgeschlossen ist. Simon und Spillmann[2]) haben daher die durch Eosin gefärbten roten Blutkörperchen auf der Zählfläche photographiert und im Photogramm die Zählung kontrolliert.

Auch die Mischpipette des Zählapparates ist keineswegs das einwandsfreie Instrument, für das es, wohl im Anschluß an die Abbesche[3]) Behauptung, daß das Mischungsverhältnis damit auf 0,5 % sichergestellt sei, gehalten wird, und zwar aus folgenden Gründen:[4])

1. Weil es schwer ist, die genaue Abmessung des Blutes und der Verdünnungsflüssigkeit in ein und derselben Pipette vorzunehmen, und weil beide Handlungen wiederholt werden müssen, wenn die Verdünnung mißglückt. Die Verdünnung mißglückt aber leicht, weil die Einstellung an der Marke 101 schwierig ist.

2. Weil die Abmessung des Blutes bis zur Marke 0,5, wie sie gerade bei der gebräuchlichen 200-fachen Verdünnung vorgenommen wird, bei der Kürze des betreffenden Stückes der Meßkapillare nur ungenau durchzuführen ist.

3. Weil die Marken 1 und 101 sich meist zu tief in den trichterförmigen Enden der Ampulle befinden, so daß das in der Ampulle enthaltene Glasstückchen außer Stande ist, die zwischen Marke und Ampulle befindliche Flüssigkeit zu mischen.

4. Weil das mit Hilfe der Mischpipette abgegrenzte Quantum der Blutmischung sehr klein und bei ungenügender Benetzung des zur Mischung dienenden Glasstückchens leicht mit nicht zu beseitigenden Luftblasen durchsetzt ist, welche einer gleichmäßigen Verteilung der Blutkörperchen hinderlich sind.

5. Weil die in der Mischpipette befindliche Blutmischung sich schwer einwandfrei so aufheben läßt, daß auch noch nach einigen Stunden oder an einem der nächsten Tage eine Kontrollzählung vorgenommen werden kann.

6. Weil es beim Durchtritt des verdünnten Blutes durch die enge Meßkapillare hindurch zur Gewinnung des Tröpfchens für die Zählkammer leicht wieder zur Entmischung kommt.

Letzteren Fehler und ferner die, welche auch noch dadurch bedingt sind, daß die Teilstriche der Meßkapillare Strichmarken und keine Ringmarken sind, und daß die Spitze der Pipette häufig matt gehalten statt poliert ist, hat schon F. Miescher beseitigt oder verkleinert (S. 28 dieses Handbuchs). Von Nachteil ist auch, daß Quecksilber zur Auswertung des Ampullenraumes nicht benutzt werden darf, da es das zum Mischen dienende Glasstückchen nicht benetzt; die Auswertung muß daher mit Wasser geschehen. Auch darf die Kapillare an der Spitze nicht zu sehr verengt sein,

---

1) Siehe auch F. Bloch, Lit.-Verzeichnis 1912, 11.
2) Simon und Spillmann, Lit.-Verzeichnis 1904, 19.
3) E. Abbe, Lit.-Verzeichnis 1878, 4, S. 99.
4) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 338.

weil es sonst zu einer Entmischung beim Einsaugen des Blutes kommen kann.

Daß die Mischpipette vielfach nicht befriedigt hat, geht auch aus einer Reihe von weiteren Neukonstruktionen hervor.

Eine nach dem Prinzipe von Cremer gebaute Pipette mit automatischer Einstellung hat R. May[1]) angegeben (Fig. 24, 25, 26).

Die Pipette besteht aus fünf Röhren, von welchen die unterste eine mittelweite Kapillare darstellt und in eine feine Spitze ausgezogen ist. Mit dieser Kapillare, welche zur Abmessung des Blutes dient, stehen die übrigen Röhren B, b, C, c je nach der Stellung der beiden Doppelhähne I und II in Verbindung oder sind von ihr abgesperrt[2]).

Beim Gebrauch der Pipette werden die Hähne so gestellt, wie es Figur 24 zeigt. Auf b wird ein ca. 20 cm langer Gummischlauch aufgesteckt und Verdünnungsflüssigkeit über die Bohrung des Hahnes II hinaus angesaugt. Dann wird der Hahn II um 90° nach rechts gedreht (Fig. 25), wie überhaupt alle notwendigen Hahndrehungen in dieser Richtung auszuführen sind. Hierauf dreht man den Hahn I ebenfalls nach rechts, aber um 180° (Fig. 25), worauf die in A befindliche Verdünnungsflüssigkeit ausfließt. Das gründliche Ausfließen begünstigt man, indem man den Schlauch von b abnimmt, auf C aufsetzt und ausbläst. Gleichzeitig wischt man die Kapillare ab, damit nicht nach Aufhören des Blasens unten anhaftende Verdünnungsflüssigkeit in die Kapillare zurücksteigt. Damit ist der Apparat zur Blutentnahme vorbereitet.

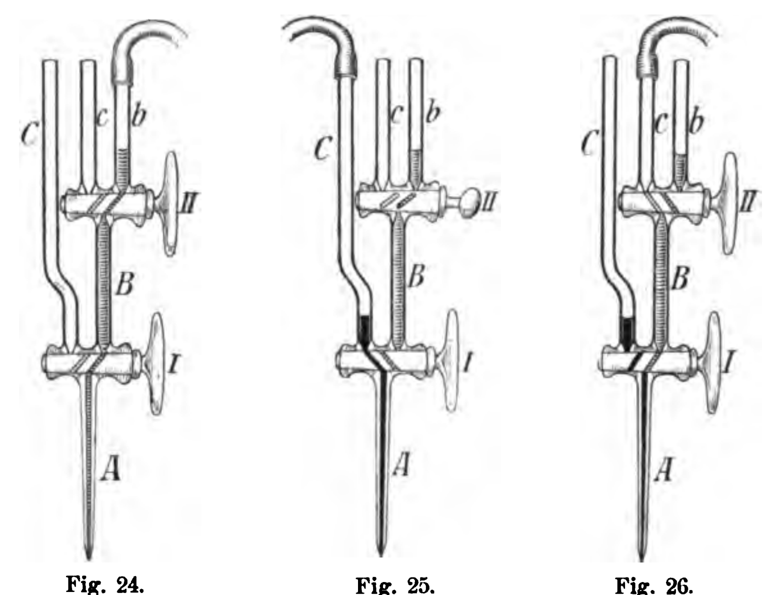


Fig. 24. Fig. 25. Fig. 26.

Pipette mit automatischer Einstellung nach R. May.

1) R. May, Lit.-Verzeichnis 1903, 2.

2) Die Pipette ist von dem Glasinstrumentenfabrikanten Chr. Fuchs, München, Schillerstraße 26, zu beziehen.

Man macht jetzt einen Einstich in die Haut und saugt von C aus Blut auf, bis dasselbe über die Hahnbohrung I (Fig. 25) in die Röhre C eingedrungen ist. Dann dreht man den Hahn I um ca. 90° nach rechts und wischt die Kapillare ab, so daß außen kein Blut anhaftet. Hierauf versetzt man den Schlauch von C auf c und hält die Kapillare in ein Mischgefäß. Indem man nun beide Hähne um weitere 90° nach rechts dreht, fließt Blut und Mischflüssigkeit, da jetzt die Röhre c mit der Außenluft kommuniziert, ab. Auch hier unterstützt man das völlige Abfließen durch Anlegung der Pipettenspitze und schließliches Ausblasen.

Zur Eichung füllt man die Pipette unter Einhaltung der Ausgangshahnstellung (Fig. 24) mit Quecksilber statt Verdünnungsflüssigkeit bis über die Hahnbohrung II b. Dann dreht man den Hahn I so, daß A mit C kommuniziert, und fängt das auslaufende Quecksilber in einem gewogenen Wägegläschen auf; sein Gewicht ist ein relatives Maß des Blutvolumens. Hierauf dreht man Hahn I und II wie in Figur 26, so daß das Quecksilber aus B und der Bohrung des Hahnes I in das Wägegläschen auslaufen kann, und wägt wieder; die Gewichtszunahme ist ein relatives Maß für das Volumen der Verdünnungsflüssigkeit. Durch Division der gesamten, im Meßgläschen aufgefangenen Quecksilbermasse durch die Masse des „Blut"-quecksilbers

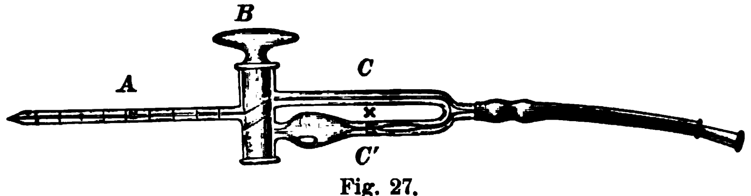


Fig. 27.
Präzisionspipette nach H. Hirschfeld.

erfährt man den Verdünnungsgrad. May hat zur Zählung roter Blutkörperchen das Blut 250-fach verdünnt.

Die Reinigung der Pipette hat bald zu geschehen wegen Gerinnung des in C und in der Bohrung des Hahnes I zurückbleibenden Blutes.

Das Mischgefäß, in welches Blut und Verdünnungsflüssigkeit entleert wird, ist eine kleine Flasche mit sehr starkem Boden, die durch einen tief eindringenden Glasstöpsel zu verschließen ist. Die Entnahme der Blutmischung geschieht nach gründlichem, 2 Minuten lang dauerndem Schütteln mittels einer einfachen, kleinen, mit Gummihütchen versehenen Pipette. Ein schwacher Druck auf den Gummi ermöglicht das Austreten eines Tröpfchens von geeigneter Größe.

Die Maysche Pipette ist der Thoma-Zeißschen Pipette prinzipiell entschieden überlegen, das Instrument ist nur etwas kompliziert und zerbrechlich.

Eine der Mayschen ähnliche, aber etwas vereinfachte Präzisionspipette hat H. Hirschfeld[1]) konstruiert.

Der Abschnitt A (Fig. 27), der auf der einen Seite durch den Hahn B begrenzt wird, dient zur Aufnahme des Blutes und kommuniziert, da B doppelt durchbohrt ist, je nach der Stellung von B entweder mit dem Abschnitt C oder C' des U-förmigen,

1) H. Hirschfeld, Lit.-Verzeichnis 1909, 3.

jenseits des Hahnes angebrachten Rohres. Der Abschnitt C′ ist mit einer Ampulle versehen, deren Inhalt bis zur Marke × samt der zugehörigen Hahnbohrung ein entsprechendes Vielfaches des Abschnittes A darstellt[1]).

Zur Blutverdünnung saugt man mit Hilfe des Schlauches und Mundstückes zuerst Verdünnungsflüssigkeit durch A und die untere Hahnbohrung direkt in die Ampulle bis zur Marke ×. Dann dreht man den Hahn um 180°, wodurch A mit C kommuniziert, bläst die Mischflüssigkeit aus A aus, beseitigt das Wasser durch Alkohol und Äther und trocknet völlig aus. Darauf erfolgt die Ansaugung des Blutes bis in die obere Hahnbohrung, während A noch mit C kommuniziert. Dann dreht man den Hahn um 90° und säubert die Spitze von A von etwa außen anhaftendem Blute. Jetzt dreht man den Hahn um weitere 90° in derselben Richtung, so daß nunmehr die Ampulle wieder mit A in Verbindung kommt, und bläst den Pipetteninhalt in ein kleines, dem Apparat beigegebenes Mischgefäß. Durch wiederholtes Einsaugen und Ausblasen mischt man. Dann entnimmt man mit der Pipette einen Tropfen der Blutmischung und beschickt damit die Zählkammer.

Um das unappetitliche und unhygienische Ansaugen des Blutes und der Verdünnungsflüssigkeit mit dem Munde zu vermeiden, hat J. Portmann[2]) eine in dieser Richtung verbesserte Mischpipette herstellen lassen.



Fig. 28.
Mischpipette nach J. Portmann.

An die gewöhnliche Mischpipette ist oben ein Ansatzstück angeschmolzen (Fig. 28), das, nachdem es sich zu einer Ampulle erweitert hat, in eine zylindrische Röhre übergeht. Die Ampulle ist mit einer seitlichen Öffnung O versehen, und über das zylindrische Stück ist ein oben geschlossenes Glasröhrchen geschoben, das unten durch einen Gummiring auf dem zylindrischen Stück befestigt ist. Diese Vorrichtung läßt sich auch an der oben beschriebenen Pipette von Hirschfeld anbringen.

Der Gebrauch der Pipette ist folgender. Man übt einen Druck auf das Glasröhrchen aus, schließt mit einem Finger die Öffnung O, taucht die Spitze der Pipette in den Blutstropfen, läßt mit dem Drucke auf das Glasröhrchen nach, wodurch das Blut in die Pipette einsteigt, und öffnet O, sowie das Blut bis zur entsprechenden Marke der Meßkapillare gelangt ist. In ähnlicher Weise verfährt man beim Einsaugen der Verdünnungsflüssigkeit[3]).

Eine gegen die Wärme der Hand geschützte und mit Hilfe einer Spritze zu füllende Mischpipette hat G. Galli[4]) konstruiert (Fig. 29). Die eigentliche Pipette ist von einem Glasmantel umgeben, der Raum zwischen Mantel und Pipette ist luftleer gemacht; d ist der Stempel, h ein Knöpfchen, das in dem Spalt i läuft, f eine Schraube, mit deren Hülfe die feinere Einstellung vorgenommen wird, während die gröbere durch Zug erfolgt.

1) Die Pipette wird von dem Zweiggeschäft von E. Leitz, Inhaber F. Bergmann, Berlin NW, Luisenstr. 45, hergestellt.
2) J. Portmann, Lit.-Verzeichnis 1909, 2.
3) Bezugsquelle siehe Anmerkung 1.
4) G. Galli, Lit.-Verzeichnis 1904, 20.

Koch[1]) hat gleichfalls die Mischpipette mit einer Metallspritze kombiniert (Fig. 30, S. 48), um das Saugen mit dem Munde zu vermeiden („Sicherheitsansauger"), die Spritze kann aber leicht abgenommen und wieder aufgesetzt werden. Durch passenden Zug oder Druck an dem gerieften Knopfe wird der Stempel der Spritze entsprechend bewegt und die Pipette gefüllt oder entleert[2]). Eine feinere Stempelbewegung ist mit Hilfe von Mikrometerschrauben bei den von Engelmann und von Hirt angegebenen Apparaten möglich[3]).

Eine wesentlich einfachere Mischpipette mit Präzisionssaugvorrichtung (Fig. 31a, S. 48) hat auch noch A. Pappenheim[4]) angegeben. Statt des Gummischlauches und Mundstücks ist eine Glashülse aufgeschliffen, welche an dem einen Ende verschlossen ist. Beim Zug an der Hülse kann Flüssigkeit in die Pipette eingesaugt, beim Druck auf die Hülse ausgetrieben werden. Werden beim Zug und Druck zugleich rotierende Bewegungen ausgeführt, so kann der Flüssigkeitsmeniskus genau eingestellt werden. Um genügenden Spielraum besonders beim Ausblasen zu haben, wird die Glashülse vor dem Ansaugen etwas zurückgezogen[5]). Bei einer neueren Form dieser Pipette (Fig. 31 b) sind zur leichteren Handhabung zwischen Ampulle und Saugvorrichtung zwei Öffnungen angebracht, welche mit Daumen und Zeigefinger der einen Hand verschlossen werden können.

Von Nachteil bei der Benutzung all dieser Instrumente, von denen das Pappenheimsche noch die meisten Vorzüge besitzt, ist, daß man beide Hände zu ihrer Bedienung braucht; sich selbst aus den Fingerkuppen Blut zu entziehen, ist dabei mit Schwierigkeiten verknüpft. Auch ist bei diesen Instrumenten zwar die Füllung unter Umständen erleichtert, aber die Fehler, welche der Pipette selbst anhaften, sind nicht beseitigt. Will man sich die Füllung bei der gewöhnlichen Pipette etwas erleichtern, so schaltet man zweckmäßig einen Widerstand (stark verengte Glasröhre) in den Schlauch ein.

Fig. 29.
Mischpipette nach G. Galli.

1) Koch, Lit.-Verzeichnis 1910, 15.
2) Bezugsquelle Aktiengesellschaft für Feinmechanik vorm. Jetter und Scheerer, Tuttlingen in Württemberg.
3) Der erste Apparat ist von Fabrikant R. Kutill, Wien IX/2, Spitalgasse 7, der zweite von dem Zweigeschäft der Firma Leitz, Berlin NW, Luisenstr. 45, zu beziehen.
4) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1911, 6, S. 229.
5) Bezugsquelle die in Anm. 3 erwähnte Berliner Firma.

In der letzten Zeit hat sich auch W. Roerdansz[1]) um die Verbesserung der Mischpipette selbst bemüht und ist zu einer Form mit folgenden Merkmalen gelangt.

Über der obersten Marke liegt ein besonderer Mischraum (Fig. 32), der das oder die Mischkügelchen enthält und auf einer Seite zu einer Standfläche abgeflacht ist. An den Mischraum ist ein Ansaugrohr seitlich angebracht; dieses Rohr mündet kapillar in den Mischraum und ist ebenso wie die Ansaugspitze der Pipette an seinem oberen Ende mit einer luftdicht aufgeschliffenen Glaskappe versehen. Bei den Marken 0,5, 1,0



Fig. 30.
Sicherheitssauger nach Koch. (½ natürl. Größe.)

und 100, welche in zylindrischen Kapillarröhren liegen, befinden sich, nach oben und unten hin verlaufend, Hilfsteilungen[2]).

Um die Pipette zur Aufnahme des Blutes und der zur Verdünnung dienenden physiologischen Kochsalzlösung bereitzuhalten, werden die Verschlußkappen abgenommen, ein passender Gummischlauch wird zum Ansaugen



Fig. 31 a. (Ältere Form.)
Mischpipette nach A. Pappenheim.

der Flüssigkeiten übergestülpt. Wird nun beispielsweise eine Blutverdünnung im Verhältnis von 1:200 gewünscht, so saugt man behutsam bis etwa zur Marke 0,5, reinigt dann sorgfältig die Außenwände der Spitze von noch anhaftendem Blute und liest nach ungefähr 30 Sekunden die Höhe der eingesogenen Blutsäule an der Marke bzw. an deren Hilfsteilung ab. Nunmehr saugt man, die Blutsäule durch die nachströmende Verdünnungs-

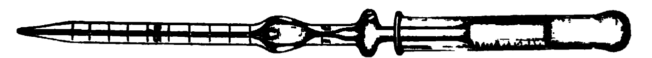


Fig. 31 b. (Neuere Form.)
Mischpipette nach A. Pappenheim.

flüssigkeit in die Ampulle verdrängend, die physiologische Kochsalzlösung bis zur Marke 100 ein, trocknet wiederum sauber die Spitze der Pipette und liest den Stand der Flüssigkeit an der Marke 100 oder deren Hilfsteilung ab. Zur Mischung der beiden eingesogenen Flüssigkeiten braucht man das Gerät nur leicht um einen Winkel von etwa 120° zu neigen, um ein zusammenhängendes Abfließen in den Mischraum zu bewirken. Sobald der Abfluß beendet ist, genügt ein leichtes Schwenken der Pipette um ihre Längsachse bei hochgerichteter Spitze, um durch die so entstandene Zentrifugalkraft das Mischkügelchen im Mischraum in kreisende Bewegung zu

1) W. Roerdansz, Lit.-Verzeichnis 1912, 5.
2) Zu beziehen von der Firma E. Fleischhauer in Gehlberg in Thüringen.

versetzen und somit eine Mischung des Blutes mit der Verdünnungsflüssigkeit zu erzielen.

Durch vorsichtiges abwechselndes Neigen und Heben der Ansaugspitze braucht man nur die Blutmischung wieder bis an die Spitze der Pipette beliebige Male vorzutreiben und zurückfließen zu lassen, um weiterhin zu mischen. Auch kann man, namentlich wenn es die Aufbewahrung des gemischten Blutes in der Pipette gilt, an die Ansaugspitze einen Gummischlauch setzen und durch leichten Druck auf den Schlauch die Reste der Blutmischung, welche eventuell noch an den Wandungen haften geblieben sind, in den Mischraum hinüberführen. Soll der Pipette ein kleiner Tropfen des gemischten Blutes entnommen werden, so braucht man nur, nachdem man tüchtig durchgeschüttelt hat, die Spitze leicht zu neigen, um einen geeigneten Tropfen auf die Zählfläche fließen zu lassen. Behufs Aufbewahrung des gemischten Blutes setzt man auf das Ansaugrohr und auf die Spitze der Pipette die Kappen auf und kann nun das Gerät samt Inhalt in wagerechter Lage beiseitestellen.

Bei dieser Pipette sind einige der früher (S. 43) genannten Fehler der Thoma-Zeißschen Mischpipette beseitigt, dafür aber neue eingeführt. Die Abmessung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit ist eine exakte, aber ihre einwandfreie Mischung ist kaum möglich, was bei der Hintereinanderschaltung von zwei Kapillaren und zwei Ampullen freilich zu erwarten ist. Bedenken muß ferner erwecken, daß das mangelhaft verdünnte Blut erst noch durch zwei Kapillaren und eine Ampulle hindurchgetrieben werden muß, um auf die Zählfläche zu gelangen. Daß es bei diesem Akte leicht wieder zur Entmischung und auch zur Durchsetzung des Blutgemisches mit Luftblasen kommt, ist nicht günstig. Auch bleiben beim Zurücksaugen des Blutgemisches in das Mischgefäß Blutkörperchen in den Kapillaren und der Ampulle zurück, welche festkleben und später schwer wieder in die Mischung eingehen. Das ganze Instrument ist schließlich leichter zerbrechlich als die einfache Mischpipette und die Umrechnung bei Benutzung der Hilfsteilung umständlich, haben sich doch auch bei der Miescherschen Pipette die Hilfsteilstriche nicht besonders bewährt (S. 29). Das Instrument kann daher nicht empfohlen werden.

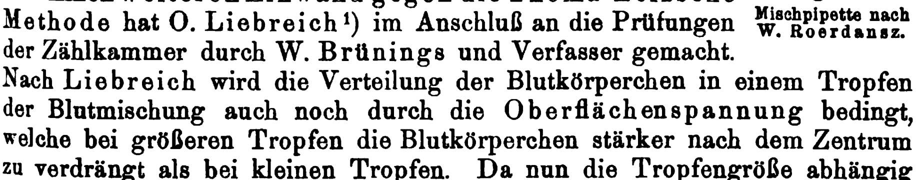


Fig. 32. Mischpipette nach W. Roerdansz.

Einen weiteren Einwand gegen die Thoma-Zeißsche Methode hat O. Liebreich[1]) im Anschluß an die Prüfungen der Zählkammer durch W. Brünings und Verfasser gemacht. Nach Liebreich wird die Verteilung der Blutkörperchen in einem Tropfen der Blutmischung auch noch durch die Oberflächenspannung bedingt, welche bei größeren Tropfen die Blutkörperchen stärker nach dem Zentrum zu verdrängt als bei kleinen Tropfen. Da nun die Tropfengröße abhängig

1) O. Liebreich, Lit.-Verzeichnis 1905, 2.

von der Schwerkraft ist, indem dann ein Tropfen von der Mischpipette abfällt, wenn die Schwerkraft eben die Oberflächenspannung überwindet, so müssen in größeren Höhen bei der verminderten Schwerkraft die Tropfen größer ausfallen, was aber die erwähnte Ungleichmäßigkeit in der Verteilung der Blutkörperchen im Gefolge hat. Dadurch sollen zum Teil die Zählresultate in größeren Höhen bedingt sein. Ein Tropfen Flüssigkeit, der in Meereshöhe 50,00 mg wiegt, erfährt bei 4000 m die allerdings nur sehr geringe Gewichtsverminderung auf 49,96 mg.

N. Zuntz[1]) hat diesen Einwand genauer geprüft, er weist darauf hin, daß der Einfluß durch die Abnahme der Schwere in der Höhe zum Teil durch die gleichzeitige Abnahme der Luftdichte kompensiert wird. Zählungen in einer gewöhnlichen Blutmischung und in einer solchen, deren Oberflächenspannung durch Zusatz von Alkohol herabgesetzt war, führten ferner zu gleichen Resultaten. Auch Beschickung der Zählkammer mit einem großen und mehreren kleinen Tropfen ergab sogar ein umgekehrtes Zählresultat, als es nach den Liebreichschen Deduktionen zu erwarten war.

Der Fehler, wenn er überhaupt besteht, dürfte daher praktisch ohne Bedeutung sein, zumal man nie einen ganzen Tropfen an der Spitze der Mischpipette sich entwickeln und dann auf die Zählfläche fallen läßt.

Aus dieser eingehenden kritischen Betrachtung, welche aber bei der außerordentlichen Verbreitung der Thoma-Zeißschen Methode im Interesse einer richtigen Bewertung des Zählresultates notwendig war, geht hervor, daß diese Methode mit einigen Mängeln behaftet ist, welche zwar durch sehr große Übung zum Teil kompensiert, aber nie völlig beseitigt werden können. Der Übersicht halber seien die Hauptmängel noch einmal kurz zusammengestellt.

1. Die wirkliche Zählfläche von 1 qmm ist viel zu klein gegenüber der möglichen Zählfläche.

2. Das Zählnetz besteht aus zu vielen, auf eine kleine Fläche zusammengedrängten Teilstrichen, was im Gefolge hat, daß die Blutkörperchen gerade im Bereiche des Zählnetzes leicht zurückgehalten werden. Auch ist die exakte Auszählung der vielen, unmittelbar aneinander grenzenden Quadrate schwer durchzuführen.

3. Daß die Kammer erst nach dem Einbringen der Blutmischung zusammengesetzt werden kann, und daß die einwandsfreie Zusammensetzung mit Schwierigkeiten und Zeitverlust verknüpft ist, leistet dem bedenklichsten Fehler bei der Zählung roter Blutkörperchen Vorschub, nämlich der ungleichmäßigen Verteilung infolge des raschen Senkungsbestrebens der schwereren Körperchen in der leichteren Verdünnungsflüssigkeit. Die Kammer gibt daher leicht zu hohe Werte an.

4. Die Zählkammer ist abhängig vom Luftdruck, wenn dieser sich rasch ändert.

5. Die Mischpipette ist mit einer Reihe von Fehlern behaftet, wie Schwierigkeit bei der Verdünnung, Ungenauigkeit in der Begrenzung der Volumina, Entmischung beim Ausblasen und beim längeren Aufbewahren; diese Fehler sind aber durch eine Reihe von Neukonstruktionen zum Teil beseitigt.

1) N. Zuntz, Lit.-Verzeichnis 1905, 3.

10. Die zweite Methode von L. Malassez mit dem Compte-globules à chambre humide graduée (1880)[1].

An Stelle seines Compte-globules à capillaire artificiel hat Malassez später einen Compte-globules à chambre humide graduée benutzt.

In einen dicken Objektträger (Fig. 33) ist eine kreisförmige Rinne von 1,5 mm Breite und 1 mm Tiefe eingegraben. Die Rinne begrenzt eine Zählfläche von 6—7 mm Durchmesser. Um die Rinne sind in gleichem Abstande voneinander 3 Schrauben angeordnet, welche mit ihren Spitzen über die Oberfläche des Objektträgers vorragen. Wird auf die Spitzen ein Deckglas aufgelegt, so wird ein Raum von bestimmter, aber mit Hilfe der Schrauben variabler Höhe abgegrenzt. Bei Benutzung nur dreier Stützpunkte ist von Vorteil, daß Fremdkörper, welche unter das Deckglas geraten, nicht so leicht stören können. Gewöhnlich sind die Schrauben so eingestellt, daß eine Kammerhöhe von $^1/_5$ mm zustande kommt. Das Verfahren zur Auswertung der Kammerhöhe mit Hilfe eines horizontal gestellten Mikroskopes oder mit Hilfe der Mikrometerschraube des Mikroskopes wird von Seite 412 der Arbeit ab beschrieben.

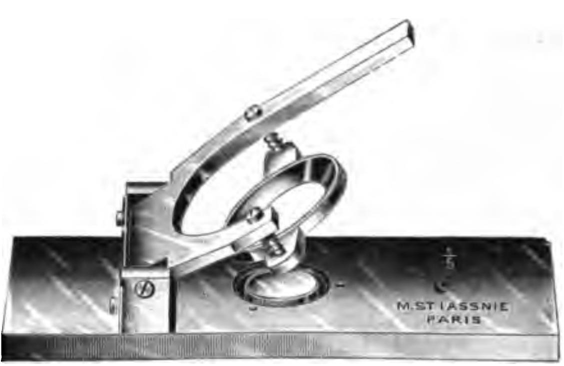


Fig. 33.
Chambre humide graduée nach L. Malassez mit Compresseur porte-lamelles.

Statt die Zählfläche durch eine kreisförmige Rinne zu begrenzen, hat Malassez die Abgrenzung im Anschlusse an Cramer auch noch durch zwei, in einigem Abstand voneinander parallel verlaufende, die ganze Breite des Objektträgers durchsetzende Rinnen vorgenommen. Quer über die so hergestellte Zählfläche kam das Deckglas auf Schraubenspitzen zu liegen.

Die Auszählung geschieht entweder mit Hilfe des im Okular des Mikroskops befindlichen, Seite 13 beschriebenen Zählnetzes (Quadrillage oculaire), welches bei $\frac{1}{5}$ mm Kammerhöhe $\frac{1}{100}$ cmm abgrenzt, oder mit Hilfe eines gleichen, 100-fach auf die Zählfläche eingeritzten Netzes (Fig. 34). Die das große Zählnetz zusammensetzenden Rechtecke sind zum Teil in die schon erwähnten 20 kleinen Quadrate geteilt, zum Teil sind sie nur mit transversalen oder nur mit sagittalen Strichen versehen, um sie zu kennzeichnen, oder auch ganz ohne besondere Kennzeichen. Werden alle 100 Rechtecke ausgezählt, dann hat man die Zahl in 1 cmm der Blutmischung ermittelt.

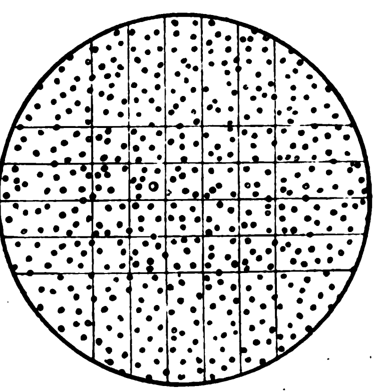


Fig. 34.
Mikroskopisches Bild bei gefüllter Chambre humide graduée nach L. Malassez.

Das Deckglas wird mit Hilfe eines am Objektträger anzuschraubenden Compresseur porte-lamelle (Fig. 33) aufgelegt. Diese Vorrichtung besteht aus einem Rahmen, der das Deckglas trägt und um eine Achse drehbar angeordnet ist.

1) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1880, 3, S. 402 und 403 und Katalog des Verfertigers M. Stiassnie, Paris, Boulevard Raspail 204.

Zu dem Apparate gehört noch der Melangeur von Potain, eine Lanzette und ein Fläschchen mit der Verdünnungsflüssigkeit (Fig. 35); als letztere wird 5%-ige Natriumsulfatlösung von 1,020 Dichte empfohlen (das Salz darf nicht verwittert sein), der man nach Marcano 1% Formol zur besseren Konservierung der roten Blutkörperchen zusetzt.

Bei einer Zählung wird das der Nagelwurzel entnommene Blut bis zur Marke 1 bis 5 des Melangeurs eingesaugt, je nachdem die Verdünnung eine 100- bis 500-fache sein soll, und darauf Verdünnungsflüssigkeit bis zur Marke 101 nachgesaugt. Wird nur 50-fache Verdünnung gewünscht, so wird das Blut bis zur Marke 1 abgemessen, dann etwas Luft eingesaugt und nochmals dieselbe Menge Blut angesaugt, worauf erst die Verdünnungsflüssigkeit zugefügt und gemischt wird. Ein auf die Zählfläche gebrachter, mit der Spitze des Melangeurs durchgemischter Tropfen des verdünnten Blutes wird mit dem Deckglase bedeckt und eine Verdunstung dadurch verhindert, daß man zwischen Deckglas und Objektträger Wasser oder das verdünnte Blut einfließen läßt. Man zählt eine Reihe von Rechtecken aus, zieht das Mittel und hat bei 100-facher Verdünnung und $\frac{1}{5}$ mm Kammerhöhe nur mit 10000 zu multiplizieren, um die Zahl in 1 cmm Blut zu erhalten. Bei mehr als 100-facher Verdünnung und $\frac{1}{5}$ mm Kammerhöhe zählt man ein entsprechendes Mehrfaches von Rechtecken, bei $\frac{1}{10}$ mm Kammerhöhe und 100-facher Verdünnung doppelt so viel Rechtecke.



Fig. 35.
Compte-globules à chambre humide graduée complet nach L. Malassez.

Das Bedenken kann bei dieser in Frankreich verbreiteten Methode nicht unterdrückt werden, daß die Kammerhöhe auch einmal variieren kann, wenn es nicht erwünscht ist, z. B. unter dem Einfluß der Wärme, welche die Schrauben stärker ausdehnt als das Glas, was auch S. Alferow in der unten zitierten Arbeit, Seite 273, rügt. Die häufige Kontrollierung der Kammerhöhe ist aber eine umständliche Operation.

11. Die Methode von S. Alferow (1884)[1].

Bei diesem Apparate sollten drei Fehler, welche den bisherigen Methoden anhaften, nämlich die angeblich unexakte Konstruktion der Apparate, die ungleichmäßige Verteilung der Blutkörperchen und die Irrtümer bei der Auszählung, vermieden werden.

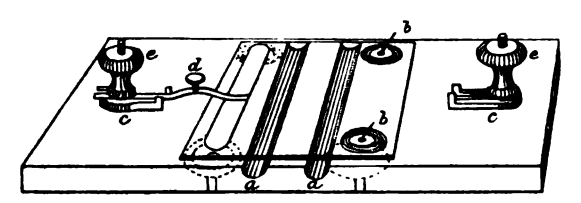
Zu dem Zwecke sind in die obere plane Fläche eines 3—4 mm dicken Objektträgers (Fig. 36) zwei in einem Abstand von 0,5—1 cm parallel zueinander verlaufende Rinnen aa von 1,5—2 mm Tiefe eingeschliffen. Nach außen von den Rinnen sind 3 oder

1) S. Alferow, Lit.-Verzeichnis 1884, 1.

4 Löcher durch das Glas zur Aufnahme ebenso vieler Deckglasträger gebohrt. Jeder dieser Träger ist in einigem Abstand von einer kreisförmigen Rinne umgeben. Zwei weitere, seitwärts von den Deckglasträgern angebrachte Bohrungen sind zur Aufnahme von je einer Schraube und zwei Schraubenmuttern bestimmt. Die eine von diesen, c, hufeisenförmig gestaltet, soll die Schraube im Objektträger befestigen und zugleich einer Klammer d zum Andrücken des Deckglases eine passende Richtung geben, die andere, knopfförmige, e, soll die an einem Ende gabelförmige Klammer gegen die hufeisenförmige Schraubenmutter fixieren.

Um die gewünschte Kammerhöhe zu erhalten — sie darf 0,5 bis 1 mm betragen — legt man als Eichmaß ein entsprechend dickes, planparallel geschliffenes Deckglas zwischen zwei Kammern, welche die Zählflächen einander zukehren, und drückt sie so an, daß an den Berühungsflächen Newtonsche Streifen entstehen. Dann kittet man die Deckglasträger, welche besser aus gefärbten Glasstäbchen als aus Metallschrauben bestehen, in die entsprechenden Bohrungen der Objektträger ein und belastet sie so, daß sie die plane Fläche des gegenüberliegenden Objektträgers berühren, wodurch die Deckglasträger für jede Kammer die gewünschte, durch die Dicke des Eichglases bestimmte Höhe über der Zählfläche erhalten.

Zur Abgrenzung bestimmter Flächenteile auf der Zählfläche kann entweder ein Okular- oder ein Objektnetzmikrometer, das letztere eingeritzt oder projiziert, verwendet werden. Der Autor hat es aber vorgezogen, mit Hilfe eines mikrophotographischen Apparates ein 200fach vergrößertes Bild der Zählfläche auf einer in Quadratzentimeter geteilten Mattscheibe zu entwerfen.



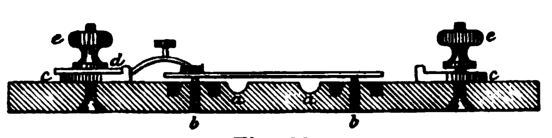


Fig. 36.
Zählkammer nach S. Alferow.

Zur Ermittelung der Zahl der Blutkörperchen wurde das Blut mit Hilfe eines der Franckeschen Nadel ähnlichen Instrumentes entzogen, mit dem Potainschen Melangeur und mit Malassezs künstlichem Serum (S. 12) verdünnt und ein Tropfen Blutmischung nach vorausgegangener Zusammensetzung und horizontaler Lagerung der Kammer an den Rand des Zählraumes gebracht, worauf sich dieser sofort durch Kapillarität füllte. Nach dem Senken der Blutkörperchen wurde im Dunkelzimmer ein bestimmt vergrößertes Bild des Kammerbodens mit den daraufliegenden Blutkörperchen auf der Mattscheibe entworfen und jedes einzelne Blutkörperchen mit einem Bleistift auf der Scheibe markiert; für rote und weiße Blutkörperchen wurden verschiedene Merkzeichen benutzt. Dann wurde die Scheibe auf weißes Papier aufgelegt und die Auszählung unter Durchstreichung der gezählten Körperchen vorgenommen.

Um bei längeren Zählungen Verdunstung zu vermeiden, wurde zwischen Objektträger und Deckglas jenseits der Rinnen Blutmischung gebracht. Die um die Deckglasträger angeordneten kreisförmigen Rinnen sollten dabei ein Vordringen der Flüssigkeit bis zu den Trägern verhindern.

Bei dieser Methode ist von entschiedenem Vorteil, daß die Zählkammer vor dem Einbringen der Blutmischung zusammengesetzt wird, und daß die Mischung rasch in den Zählraum eindringt. Auch laufen Zählfehler nicht

so leicht unter als bei den bisher mitgeteilten Methoden. Das ganze Verfahren muß aber als sehr umständlich und zeitraubend bezeichnet werden.

12. Die Methode von M. Einhorn und G. L. Laporte (1902)[1].

Die Autoren fanden bei vergleichenden Zählungen der roten Blutkörperchen in einem nach Ehrlich hergestellten Deckglastrockenpräparat und in der Thoma-Zeißschen Kammer, daß sich die Zahl der auf 1 qmm des Trockenpräparates vorhandenen roten Blutkörperchen zu der in 1 cmm Blut enthaltenen Zahl durchschnittlich wie 1:500 verhält; mit dem Koeffizienten 500 muß also die Zahl der auf 1 qmm des Trockenpräparates gefundenen Erythrozyten multipliziert werden, um die Zahl der in 1 cmm Blut vorhandenen Erythrozyten zu erhalten. Darauf bauen die Autoren folgende Methode auf.

In dem nach Ehrlich hergestellten und nach Jenner gefärbten Deckglaspräparate (S. 81 u. 96) wird eine Stelle ausgesucht, wo die Blutschichte möglichst dünn und die Verteilung der Blutkörperchen eine gleichmäßige ist. Dann kommt ins Okular des Mikroskops eine Blende mit quadratischem Ausschnitt, der zur besseren Orientierung noch durch zwei, sich senkrecht durchkreuzende feine Platindrähtchen in vier kleinere Quadrate geteilt ist („Blutzählerdiaphragma"). Die in dem ganzen Ausschnitt enthaltenen Blutkörperchen werden gezählt, worauf der Objektträger verschoben, die Zählung von neuem vorgenommen und so fortgefahren wird, bis eine Fläche von ungefähr 26 Feldern entsprechend $\frac{6}{20{,}3}$ qmm[2]) durchgezählt ist.

Angenommen es seien im ganzen 2336 rote Blutkörperchen gefunden worden, dann beträgt ihre Zahl in 1 cmm Blut $\frac{2336 \cdot 20{,}3 \cdot 500}{6}$, rund 3952000. Auch in älteren Trockenpräparaten ist die Zählung noch nachträglich möglich.

Die Methode setzt eine stets gleich dünne Blutschichte im Trockenpräparat voraus. Da diese Voraussetzung nur schwer zu erfüllen ist, so kann die Methode nur für annähernde Schätzungen der Blutkörperchenzahl in Betracht kommen. Mehr Wert gewinnt die Methode bei gleichzeitiger Zählung von Erythrozyten und Leukozyten, zu welchem Zwecke sie auch von den Autoren verwendet wurde.[3])

13. Die Methode von W. Brünings (1903)[4].

Im Anschluß an die Seite 34 mitgeteilte Prüfung der Thoma-Zeißschen Kammer hat W. Brünings einen neuen Zählapparat konstruiert, bei welchem die tropfenweise Überführung des verdünnten Blutes in den Zählraum und seine Bedeckung mit einem Deckglas vermieden werden sollte,

---

1) M. Einhorn und G. L. Laporte, Lit.-Verzeichnis 1902, 4.

2) 26 ganze Gesichtsfelder entsprachen 6 qmm, die Blendenöffnung betrug nur $\frac{1}{20{,}3}$ des Gesichtsfeldes.

3) Siehe die Zählmethoden der Leukozyten S. 110.

4) W. Brünings, Lit.-Verzeichnis 1903, 1, S. 398.

was durch eine Verbindung von Mischpipette und Zählraum erreicht wurde; eine solche Verbindung hat schon L. Malassez[1]) angestrebt, sie ist ihm aber nicht gelungen.

Das Zählstück des Zählapparates (Fig. 37 im Längsschnitt) besteht aus einem etwa 4 cm langen Glasröhrchen a a von ca. 8 mm Dicke und 1 mm Lumen. Aus der dicken Wand des Röhrchens ist ein linsenförmiges Stück b ausgeschliffen. In diesen Ausschliff ist eine genau passende Linse eingekittet, so daß ihr Scheitel ein wenig in das Lumen der Röhre hineinragt. Auf diesen Scheitel ist eine der unteren Linsenfläche parallele Facette von ca. 1,5 mm Radius angeschliffen, der Facette ist ein in 400 Quadrate geteilter Quadratmillimeter eingeritzt.

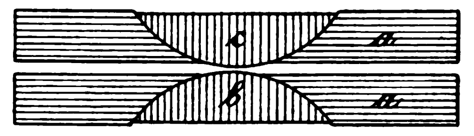


Fig. 37.
Zählstück des Zählapparates nach W. Brünings.

Gegenüber der unteren Linse b ist dem Röhrchen in einem zweiten Ausschliff die Linse c eingekittet. Ihre Facette enthält keine Teilung und ist der ihr parallelen unteren Facette auf 0,200 mm Abstand genähert. So entsteht zwischen beiden Facetten ein kreisförmiger Zählraum vom Durchmesser der Kapillarröhre und 0,200 mm Tiefe.

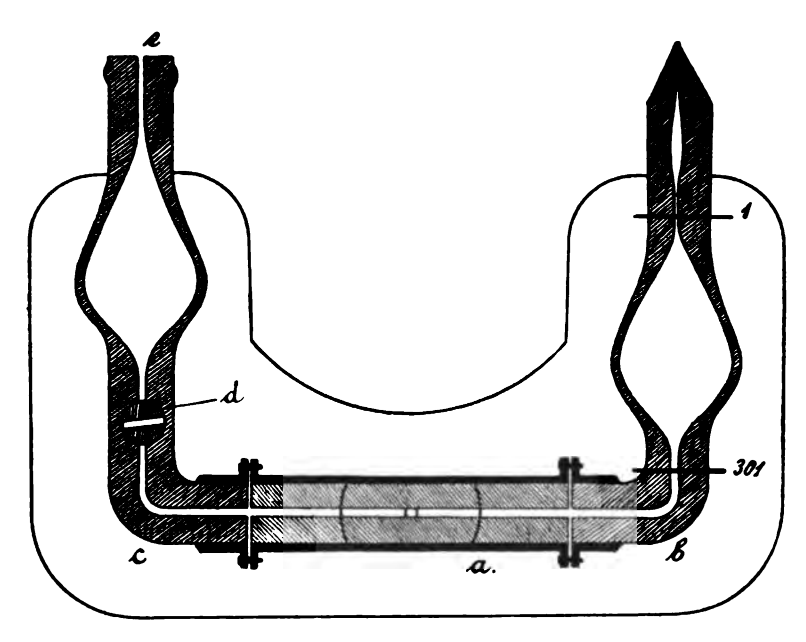


Fig. 38.
Zählapparat nach W. Brünings.

Das ganze Zählstück ist nach Abschneiden der seitlich überragenden Linsenteile in ein metallenes Schutzrohr gefaßt (Fig. 38), dessen Enden zu einer Flansche bzw. einem Bajonettverschluß ausgearbeitet sind. An diese Teile ist eine Mischpipette b ohne Mischperle für 300-fache Verdünnung und eine Mischkammer c mit Hahn d und Schlauchstück e angepaßt. Der ganze Apparat ist auf eine in der Figur angedeutete Metallplatte montiert. Zapfen und Klammern fixieren ihn in horizontaler Lage in den

1) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1873, 1, S. 23, Anm. 2.

Ausfräsungen dieser Platte, jedoch so, daß er leicht mit einem Griff von ihr abzuheben ist.

Schwierig war es, genau die Kammerhöhe von 0,200 mm herzustellen; es mußte eventuell mit einer konstanten Abweichung von diesem Werte gerechnet werden.

Zum Gebrauch des Instrumentes nimmt man es von der Metallplatte ab und saugt bei geöffnetem Hahn Blut bis genau zur Marke 1 an. Nachdem mit möglichst geringem Zeitverlust Verdünnungsflüssigkeit nachgesogen ist, wird bei vertikal gerichteten Pipettenstücken das verdünnte Blut 10—20 mal aus einer Mischkammer in die andere getrieben, wobei starke Wirbelbildung und vollkommene Mischung eintritt. Während dieser Bewegung wird in einem Momente, da beide Kammern etwa zur Hälfte gefüllt sind, der Hahn zugedreht und der Apparat sofort horizontal auf den Objekttisch gelegt. Die Blutzellen sedimentieren in wenigen Sekunden, und die Zählung kann in der üblichen Weise ausgeführt werden.

Will man die gleiche Probe mehrmals auszählen, so genügt es, nach dem Öffnen des Hahnes die Mischung wieder 10—20 mal ganz aus einer Kammer in die andere zu treiben und weiter wie oben mitgeteilt zu verfahren.

Die Reinigung des Apparates soll gleich nach beendigtem Gebrauch so geschehen, daß man nach dem Ausblasen der Blutmischung Wasser einsaugt, dieses einige Male aus einer Kammer in die andere treibt und die Manipulation mit frischem Wasser einige Male wiederholt. Zum Trocknen saugt man womöglich heiße Luft durch das Rohr, solange bis mindestens das Meßstück der Pipette durchaus trocken ist. Äther-Alkohol darf nicht verwendet werden, da dieser den Schellack, mit welchem die Glasstücke in das Zählstück eingekittet sind, lösen würde.

Eine Prüfung der Zählmethode ergab Brünings, daß man bei einer Zählung von 200 Quadraten mit einem wahrscheinlichen Fehler von 2,3 %, also einem mittleren von 3,4 % zu rechnen hat mit der Aussicht, unter 2—3 Fällen 1 mal um mehr als 4 bzw. 6 %, unter 5 Fällen 1 mal um mehr als 5 bzw. 7,5 % und erst unter 10 Fällen 1 mal um mehr als 6 bzw. 9 % von dem richtigen Werte abzuweichen.

Der Apparat, der zweifellos den wunden Punkt der Thoma-Zeißschen Methode getroffen hat, konnte wegen Konstruktionsschwierigkeiten nicht im großen hergestellt werden. Daß Äther-Alkohol nicht zum Trocknen benutzt werden darf, ist ein Nachteil.

Eine einfache Zählvorrichtung hat M. Löwenberg angegeben, von der, da sie nur approximative Zählungen erlaubt, auch nur das Prinzip angegeben werden soll.

14. Die Methode von M. Löwenberg (1908)[1].

Von 400-fach verdünntem Blute werden 5 cmm abgemessen, auf einen Objektträger gebracht und so mit einem kreisrunden Deckglas von 10 mm Radius ohne Druck bedeckt, daß die Blutmischung gerade den Raum unter dem Deckglas ausfüllt. Gezählt wird in dem Gesichtsfelde des Mikroskops,

1) M. Löwenberg, Lit.-Verzeichnis 1908, 3.

dessen wirklich begrenzte Fläche zu der von dem Deckglas bedeckten Fläche in einer festen Beziehung steht, bei der Versuchsanordnung von Löwenberg, Okular 4, Tubuslänge 153 mm, Zeiß Objektiv D, im Verhältnis $\left(\frac{1}{5}\right)^2 : 10^2$, also wie 1:2500. Man ermittelt, unterstützt durch eine Netzteilung im Okular, die mittlere Zahl der Blutkörperchen im Gesichtsfeld, indem man in der Richtung zweier zueinander senkrechter Durchmesser des Deckglases zählt, und erhält dann durch Multiplikation mit 200000 die Zahl der in 1 cmm Blut enthaltenen Körperchen.[1])

Voraussetzung bei dieser Methode ist, daß keine Luftblase ins Präparat gelangt und daß die Blutmischung weder unter dem Deckglas hervorquillt, noch sich vom Deckglasrande zurückzieht.

Es ist klar, daß die Methode nur annähernde Werte geben kann, was sie auch nur will.

Die bei der Thoma-Zeißchen Methode gerügten Fehler, daß das Zählnetz viel zu klein ist gegenüber der möglichen Zählfläche, daß das Netz selbst aus zu vielen, auf engem Raum zusammengedrängten Teilstrichen besteht, daß die Kammer erst nach dem Einbringen der Blutmischung und dann erst noch unter Schwierigkeiten zusammengesetzt werden kann, daß die Kammer ferner abhängig von rasch erfolgenden Luftdruckschwankungen ist und daß endlich auch die Mischpipette mit einer Reihe von Mängeln behaftet ist, haben Verfasser veranlaßt, eine Zählmethode auszuarbeiten, welche frei von den genannten Fehlern sein sollte.

15. Die Methode von K. Bürker (1905—1911)[2]).

Der Zählapparat (Fig. 39, S. 58) besteht aus einer besonderen Zählkammer, einer kleinen feuchten Kammer, einem Instrument zur Blutentziehung, einer Pipette zur Abmessung von 25 cmm Blut, einer Pipette zur Abmessung von 4975 cmm Verdünnungsflüssigkeit, zwei Rundkölbchen zur Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit, zwei Pipetten zur Übertragung des verdünnten Blutes in die Zählräume und aus Schemata zum Eintragen des Zählresultates. Die Füllung der Zählräume erfolgt durch Kapillarität.

Bei der Zählkammer, die ohne Kenntnis von der Cramerschen (S. 9) und Alferowschen Kammer (S. 52) konstruiert wurde, ist die Zählfläche länglich gestaltet und nur an den Enden abgerundet. Eine 2 mm breite Querrinne teilt die Zählfläche in 2 Abteilungen, von denen jede ein 9,3 qmm großes, aus möglichst wenig Teilstrichen bestehendes Zählnetz (Fig. 40, S. 58) trägt. Die roten Blutkörperchen werden in den kleinen Quadraten von $\frac{1}{400}$ qmm gezählt, welche um die Breite der Rechtecke von $4 \cdot \frac{1}{400}$ qmm voneinander abstehen; 169 solcher Quadrate stehen auf jedem Zählnetz zur Verfügung. Zur besseren Orientierung ist die 1., 5., 9. und 13., in transversaler und sagittaler Richtung verlaufende Quadratreihe mit einem durchgezogenen Striche besonders markiert. Sollen die Zählflächen ohne Zählnetz bleiben, dann kommen zur Abgrenzung von $\frac{1}{400}$ qmm Blenden aus Metall oder besser ein auf Glas geritztes Quadrat ins Okular des

1) Der Apparat wird von dem Zweiggeschäft der Firma Leitz, Berlin, Luisenstraße 45, hergestellt.

2) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1905, 6, 1907, 5 und 1911, 5.



Fig. 39.
Zählapparat nach K. Bürker.
($^2/_3$ nat. Größe.)

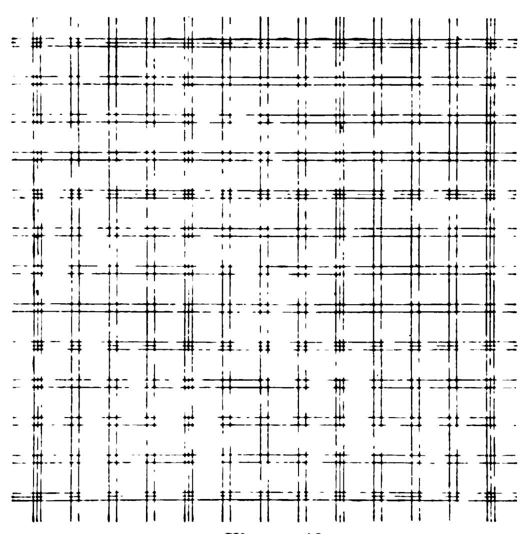


Fig. 40.
Netzteilung nach K. Bürker.
(20 mal vergr.)

Mikroskops. Im allgemeinen ist das Objektmikrometer dem Okularmikrometer vorzuziehen.

Über die Zählflächen wird ein 21 × 23 mm großes, 0,4 mm dickes Deckglas gebrückt, das auf den seitlich in einem Abstand von mindestens 1,5 mm angeordneten

Deckglasträgern reichlich Platz findet. Die langen Kanten des Deckglases sind abgerundet und poliert. Über das Deckglas ragen beiderseits die Zählflächen hinaus. Damit die verlangte Kammerhöhe von 0,100 mm exakt zustande kommt, drücken Klammern das Deckglas unter Erzeugung und Erhaltung Newtonscher Streifen auf die Träger auf. Die Klammern finden in Metallagern, welche in den Objektträger eingekittet sind, Halt. Um dem Kammerraum auch die Höhe von 0,200 mm geben zu können, wird ein unten mit einer entsprechenden Vertiefung versehenes Deckglas aufgelegt.

Die feuchte Kammer (Fig. 39 unterhalb der Zählkammer) kommt nur bei länger dauerndem Zählversuche oder bei Unterbrechung desselben zur Verwendung. Da der Zählraum, um in bezug auf seine Höhe unabhängig vom Luftdruck zu sein, offen bleiben muß, so ist das Wasser der Blutmischung der Verdunstung ausgesetzt; zur Verhinde-

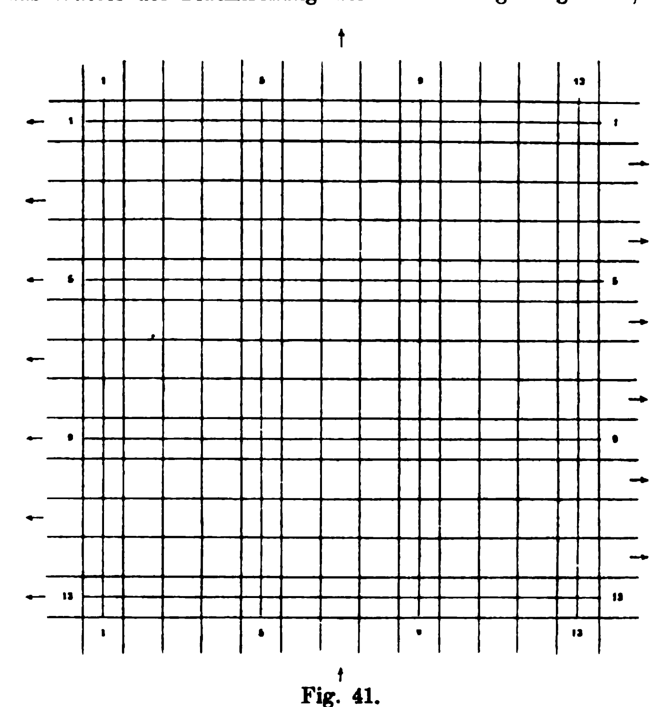


Fig. 41.
Schema zum Eintragen des Zählresultates bei Zählung roter Blutkörperchen nach K. Bürker.
($^2/_3$ nat. Größe.)

rung der Verdunstung dient eben die feuchte Kammer. Sie ist aus einem Metallstreifen hergestellt, mit Ausschnitten für die Klammern versehen und innen mit Filtrierpapier belegt. Mit Hilfe eines gleichfalls mit Filtrierpapier belegten Deckels kann die feuchte Kammer auch von oben her zugedeckt werden.

Das Instrument zur Blutentziehung (Fig. 39 unten) ist eine nur wenig modifizierte Franckesche Nadel; die Schneide ist statt spitz und lanzettartig breit und meiselartig gehalten, um die Blutgefäße in möglichst großem Umfang zu eröffnen und um einen spitz zulaufenden, zu feinen Stichkanal zu vermeiden.

Die Pipette zur Abmessung von 25 cmm Blut ist mit einer polierten Spitze (Öffnung nicht zu eng) und einer Ringmarke versehen, in deren Ebene der Meniskus eingestellt wird. Man kann so entscheiden, ob die Blutsäule in der Tat bis zur Spitze reicht, und vermeidet falsche Einstellung durch parallaktische Verschiebung des Meniskus Bei einer Länge des kapillaren Raumes von etwa 9 cm ist der Einstellungsfehler gering. Auf die Pipette ist noch ein Schlauch samt Mundstück geschoben.

Nach denselben Prinzipien ist die Pipette zur Abmessung von 4975 cmm Verdünnungsflüssigkeit hergestellt, nur ist sie des größeren Volumens wegen mit einer Ampulle versehen. Als Verdünnungsflüssigkeit wird Hayemsche Lösung (S. 15) benutzt.

Das Rundkölbchen zur Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit besteht aus einem kugeligen und zylindrischen Teil; in ersteren kommt die Blutmischung, in letzteren ein Stopfen. Jeder Apparat enthält noch ein Reservekölbchen. Um die Kölbchen aufrecht hinstellen zu können, benutzt man kleine Glasschälchen oder versieht ein Holzbrettchen mit entsprechenden Vertiefungen.

Die an der Spitze etwa 1 mm weiten und dort polierten Übertragungspipetten sind am andern Ende mit Gummihütchen versehen, die so weit aufgeschoben sind, daß die Kuppe des Hütchens etwa 3 mm vom Glasrande entfernt ist. Die eine Pipette dient zur Füllung der einen, die andere zur Füllung der andern Abteilung der Zählkammer.

Die doppelt vorhandenen Rundkölbchen und Übertragungspipetten sind durch Merkzeichen (a, b) unterschieden.

In die auf Papier gedruckten Schemata zum Eintragen des Zählresultates (Fig. 41) sind nur diejenigen Quadrate des Zählnetzes vergrößert aufgenommen, in welchen die roten Blutkörperchen gezählt werden, die im Zählnetz dazwischen liegenden Rechtecke und großen Quadrate sind weggelassen. In den Schemata sind die Quadrate auch mit denselben Merkzeichen, welche sie auf der Zählfläche tragen, versehen wie Kreuz, transversaler oder sagittaler Strich. Oberhalb und unterhalb der Schemata ist für Notizen und Berechnungen genügend Platz. 100 solche Schemata sind zu einem Hefte vereinigt.[1])

Die Art der Zählung ist folgende. In die sorgfältig gereinigte Pipette zur Abmessung von 4975 cmm Verdünnungsflüssigkeit wird Hayemsche Lösung bis etwas über die Ringmarke eingesaugt, der Schlauch der Pipette langsam zugeklemmt und die Pipette dann horizontal gehalten. Darauf wird die Pipette um die Spitze herum mit einem feinen leinenen Läppchen trocken gewischt und nunmehr der Meniskus dadurch haarscharf auf die Ringmarke zurückgeführt, daß die Spitze der Pipette ein oder mehrere Male mit der gereinigten Kuppe des freien Zeigefingers leicht und kurz berührt wird. Dann geht man mit der Spitze der Pipette in das sorgfältig gereinigte, etwas schräg gestellte Rundkölbchen bis nahe zum Boden ein und läßt die Verdünnungsflüssigkeit dadurch langsam ausfließen, daß man die Kuppe des freien Zeigefingers leicht auf das Mundstück der Pipette auflegt. Die Ausflußzeit soll etwa 40 Sekunden betragen. Zur vollständigen Entleerung der Pipette setzt man ihre Spitze etwas oberhalb des Flüssigkeitsniveaus auf die Innenwand des Glaskölbchens auf, bläst aus und tupft ab. Durch mehrmaliges Ausblasen und Abtupfen werden die letzten Reste von Flüssigkeit in das Rundkölbchen übertragen und durch passende Bewegung des Kölbchens mit der übrigen Flüssigkeit vereinigt, worauf der Stopfen aufgesetzt wird. Von nun an muß verhindert werden, daß etwas von der abgemessenen Flüssigkeit an den Hals des Kölbchens oder gar an den Stopfen gelangt.

Die Pipette wird darauf zweimal mit destilliertem Wasser ausgespült und mit der Spitze nach abwärts in ein Glas, dessen Boden mit Filtrierpapier bedeckt ist, aufrecht hingestellt. Falls die Pipette nicht alle Verdünnungsflüssigkeit in das Kölbchen glatt abgibt, wird sie über Nacht mit konzentrierter Schwefelsäure, in welcher man einige Kristalle von Kaliumbichromat gelöst hat, gefüllt, am Morgen ausgeblasen und mehrere Male,

[1]) Der Apparat wird von der optischen Werkstätte C. Zeiß in Jena hergestellt.

zuerst mit gewöhnlichem, dann mit destilliertem Wasser ausgespült, worauf sie wieder längere Zeit gebrauchsfähig ist.

Die Entziehung und Abmessung des Blutes wird bei gewöhnlicher Lebensweise am besten morgens vorgenommen, noch bevor die Versuchsperson oder das Versuchstier irgend etwas genossen hat; man ist dann sicher, daß sich das Blut in einem gewissen Gleichgewichtszustande befindet.

Vor der eigentlichen Blutentziehung und Blutabmessung wird dafür gesorgt, daß die Temperatur des Versuchsraumes etwa 17° C beträgt und nicht unter diesen Wert sinkt, um einer Kontraktion der Hautgefäße vorzubeugen. Dann reinigt man die Hautstelle (Fingerkuppe oder Ohrläppchen) mit lauwarmem Wasser und Seife, eventuell rasiert man, spült ab, trocknet und desinfiziert mit Äther-Alkohol, den man in ein reines fäserchenfreies Tuch aufgenommen hat. Mit Äther-Alkohol desinfiziert man auch das Franckesche Instrument zur Blutentziehung und wählt die Länge des in die Haut einschlagenden Teiles des Instrumentes so, daß das Blut sofort nach dem Schnitte in einem großen Tropfen auf die Haut austritt, ohne daß man Druck anwendet. Sorgt man mit Hilfe eines kleinen Ölsteines dafür, daß die Schneide des Instrumentes stets scharf bleibt, so ist dies leicht durchzuführen. Übrigens schadet ein gelinder Druck nicht, wenn er nur etwas entfernt von der Wunde einwirkt. Auch durch Auseinanderziehen der Wundränder kann man ein stärkeres Bluten veranlassen. Bei der Blutentziehung aus dem Finger hält man diesen bei abduziertem Arm in Herzhöhe, bei der Entziehung aus anderen Körperteilen muß gleichfalls alles vermieden werden, was die Freiheit der Blutzirkulation in diesen Teilen irgendwie stört. Der zuerst austretende Blutstropfen wird völlig abgewischt. Mitten in den folgenden Tropfen wird die Spitze der sorgfältig gereinigten, möglichst wagrecht gehaltenen Blutpipette eingetaucht und so viel Blut angesaugt, daß der Meniskus in die Ebene der Ringmarke hineinfällt oder etwas darüber hinausragt. Dann wird die Pipette an der Spitze abgewischt, ohne die Öffnung selbst zu berühren, und zugesehen, ob die Blutsäule in der Tat von der Spitze bis zur Ringmarke reicht. Ist der obere Meniskus etwas über die Ringmarke hinausgetreten, so wird er dadurch haarscharf auf die Marke zurückgeführt, daß die Spitze der Pipette mit der Kuppe des freien gereinigten Zeigefingers ein oder mehrere Male leicht und kurz berührt wird.

Zur Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit geht man mit der Spitze der gefüllten Blutpipette in die in das Rundkölbchen abgemessene Verdünnungsflüssigkeit nach Abnahme des Stopfens ein und läßt das Blut von selbst langsam austreten oder bläst leicht. Dann saugt man reine Verdünnungsflüssigkeit an, läßt sie wieder austreten und spült so, ohne Luftblasen zu erzeugen, die Blutpipette völlig aus, worauf man sofort den Stopfen aufsetzt. Alsdann wird das Blut mit der Verdünnungsflüssigkeit durch Schwenken, nicht durch Schütteln, gemischt, um Luftblasen zu vermeiden und um zu verhindern, daß die Blutmischung an den Hals des Kölbchens oder gar an den Stopfen gerät, worauf die Blutpipette noch einige Male mit dem verdünnten Blute ausgespült und das Rundkölbchen durch den Stopfen verschlossen wird. Das Blut ist dann 200-fach verdünnt.

Sofort wird die Blutpipette dadurch gereinigt, daß sie zunächst mehrere Male mit destilliertem Wasser ausgespült wird, worauf man zusieht,

ob innen in der Nähe der Ringmarke sich etwa Fibrin abgeschieden hat, was häufig der Fall ist. Man beseitigt dieses Fibrin mit Hilfe eines gereinigten, entfetteten Pferdehaares, spült noch einige Male mit destilliertem Wasser aus und trocknet den Binnenraum der Pipette dadurch, daß man Äther-Alkohol einsaugt, wieder ausfließen läßt und mit Hilfe des Mundstückes und Schlauches der Pipette Luft hindurchsaugt, aber nicht hindurchbläst, worauf man die Pipette mit der Spitze nach abwärts in das Glas neben die Pipette für die Verdünnungsflüssigkeit aufrecht hinstellt. Bei beiden Pipetten verhindern die aufgesteckten und umgebogenen Schläuche ein Eindringen von Staub in den Binnenraum der Pipetten. Wie die Pipette für die Verdünnungsflüssigkeit, so wird auch die Blutpipette von Zeit zu Zeit mit konzentrierter Schwefelsäure und Kaliumbichromat gereinigt (S. 60).

Jetzt wird die Zählkammer auseinandergenommen, in ein möglichst fäserchenfreies Leinwandläppchen Wasser aufgenommen, die Zählflächen und die Deckglasträger damit abgewischt und abgetrocknet. Dann wird das Läppchen mit etwas Äther-Alkohol befeuchtet, die Zählflächen und Deckglasträger auch damit abgewischt und dann wieder getrocknet, wobei man insbesondere die Ritzen des Zählnetzes von Wasser und Äther zu befreien sucht. In gleicher Weise wird das Deckglas gereinigt, auch an den langen Kanten; nach der Reinigung dürfen die langen Kanten dort, wo sie die Zählflächen überbrücken, nicht mehr berührt werden. Darauf werden die Zählflächen, die Deckglasträger und das Deckglas auf schwarzer Unterlage von Fäserchen und Stäubchen mit einem feinen Haarpinsel befreit. Zur Zusammensetzung der Kammer wird das Deckglas von der breiten Seite des Objektträgers her auf den Rand der Kammer aufgelegt und mit den beiden Daumen, während die beiden Zeigefinger es gegen die Unterlage andrücken, so aufgeschoben, daß überall über den Deckglasunterlagen Newtonsche Streifen, darunter möglichst schwarze und braune, entstehen. Alsdann werden, während das Deckglas angedrückt bleibt, die Klammern zur Erhaltung der Streifen aufgesetzt. Jetzt wird die Kammer auf einem Justiertischchen oder auf dem Objekttische des Mikroskopes möglichst horizontal gelagert und nunmehr zur Füllung geschritten.

Zu dem Zwecke wird das verdünnte Blut zunächst sorgfältig gemischt, indem das Rundkölbchen 2 Minuten lang abwechselnd im gleichen und im entgegengesetzten Sinne der Bewegung des Uhrzeigers in einigen Spiraltouren mit immer kleinerem Radius geschwenkt wird, ohne aber die Blutmischung aus dem kugeligen Teile des Kölbchens an den Hals oder gar an den Stopfen gelangen zu lassen. Dann wird das Kölbchen, mit dem Halse dem Untersucher zugewendet, in nächster Nähe der Zählkammer auf eine schwarze Unterlage hingestellt und abgewartet, bis die wolkige Trübung eben einer gleichmäßigen Platz gemacht hat. Unterdessen wird eine der Übertragungspipetten gefaßt, mit der Spitze, während ein gelinder Druck auf das Gummikäppchen ausgeübt wird, ohne Zeitverlust in das verdünnte Blut eingegangen, mit dem Drucke langsam nachgelassen und dadurch bewirkt, daß etwas verdünntes Blut langsam in die Pipette einsteigt. Sofort wird die Pipette vorsichtig herausgezogen, die Spitze sogleich auf den vorragenden Teil der einen Abteilung der Zählfläche aufgesetzt, ein leicht zunehmender Druck auf das Gummikäppchen ausgeübt, bis das verdünnte Blut gerade das Deckglas erreicht,

worauf mit dem Drucke nachgelassen wird; die Füllung erfolgt dann momentan. Den Druck auf das Gummikäppchen kann man sich auch ersparen, da durch das Anfassen der gefüllten Pipette mit der warmen Hand die Luft in ihr genügend erwärmt und ausgedehnt wird, um ein Tröpfchen der Blutmischung vortreten zu lassen. Die Kammer bleibt bei 0,1 mm Kammerhöhe 1 Minute, bei 0,2 mm 2 Minuten ruhig liegen, in welcher Zeit sich die Blutkörperchen auf die Zählfläche senken. Unterdessen wird der Rest der in der Pipette befindlichen Blutmischung durch Druck auf das Gummihütchen beseitigt, die Pipette mit etwas Wasser gefüllt und mit der Spitze voran in ein Glas mit wenig Wasser aufrecht hingestellt.

Jetzt wird das im Kölbchen befindliche verdünnte Blut wieder 2 Minuten lang in der beschriebenen Weise gemischt und mit der anderen Übertragungspipette die Füllung der zweiten Abteilung der Zählkammer in der gleichen Weise vorgenommen. In beiden Fällen soll von dem Ende der Mischung bis zur vollendeten Füllung möglichst wenig Zeit verstreichen.

Während sich die Blutkörperchen in der zweiten Abteilung senken, reinigt man die Übertragungspipetten an dem betreffenden Ende, indem man dort mehrere Male destilliertes Wasser mit Hilfe der Gummikäppchen einsaugt und ausbläst, die Wasserreste durch Äther-Alkohol beseitigt und den Binnenraum mit Hilfe eines durchgesaugten Luftstromes trocknet; werden die Pipetten nicht sofort wieder benutzt, so trocknen sie auch von selbst. Von Zeit zu Zeit empfiehlt sich eine mechanische Reinigung mit einer feinen Feder und eine chemische mit konzentrierter Schwefelsäure und Kaliumbichromat in der für die anderen Pipetten angegebenen Weise (S. 60).

Hat man die Zählkammer nicht auf dem Objekttische des Mikroskopes, sondern auf einem Justiertischchen gefüllt, so kann man sie nach der Senkung der Blutkörperchen in möglichst horizontaler Haltung auf den Objekttisch übertragen, ohne eine in Betracht kommende Verschiebung der Blutkörperchen befürchten zu müssen.

Der Zählung hat die Prüfung auf möglichst gleichmäßige Verteilung der Körperchen voranzugehen. Zu dem Zwecke beleuchtet man die Zählfläche bei weitgeöffneter Blende mit Hilfe des Mikroskopspiegels. Beim Blicken von oben her auf die Zählfläche sieht man über ihr, sofern man sie auf einen, im Spiegel erscheinenden dunklen Hintergrund projiziert, mit bloßem Auge eine von den Blutkörperchen herrührende gelbliche Trübung. Ungleichmäßigkeiten in der Verteilung äußern sich sofort dadurch, daß diese Trübung keine regelmäßige ist, in welchem Falle eine neue Füllung vorgenommen werden muß. Ist eine Abteilung gut, die andere schlecht gefüllt, so zählt man erstere durch, bevor man von neuem füllt.

Zur Zählung, welche man wie die Blutentziehung bei Zimmertemperatur vornimmt, ist ein in zwei zueinander senkrechten Richtungen verschiebbarer Objekttisch sehr vorteilhaft. Bei dem relativ großen Abstand der Quadrate voneinander kann aber auch die Verschiebung der Kammer mit der Hand leicht vorgenommen werden, zumal, wenn man auf dem Objekttisch ein in qmm geteiltes Papier befestigt und darauf die Verschiebung der Kammer vornimmt; das Papier muß entsprechend der Bohrung im Objekttisch gelocht sein.

Man beginnt mit der Zählung bei etwa 300-facher Vergrößerung (mittel-

starkes Objektiv, starkes Okular, Plan- oder Konkavspiegel je nach der Beleuchtung, nicht zu starke Beleuchtung, bei tief unter dem Objekttisch stehender enger Blende, die Teilstriche müssen deutlich hervortreten), in der linken oberen Ecke des Zählnetzes, zählt die roten Blutkörperchen in den kleinen Quadraten Transversalreihe für Transversalreihe durch und trägt die gefundenen Zahlen in die entsprechenden Quadrate der Schemata ein. Einem Quadrate rechnet man dabei diejenigen Blutkörperchen zu, welche frei in dem betreffenden Quadrate gelegen sind und welche die obere und rechte Kante decken oder von innen oder außen berühren, läßt aber unberücksichtigt alle Körperchen, welche die linke untere Kante decken oder von innen oder außen berühren. Man zählt so gleichsam in einem Quadrate, welches um die Breite eines roten Blutkörperchens nach rechts und oben verschoben ist. Als Kante gilt dabei die mittlere der drei, das Quadrat begrenzenden, sich optisch markierenden Linien, welche

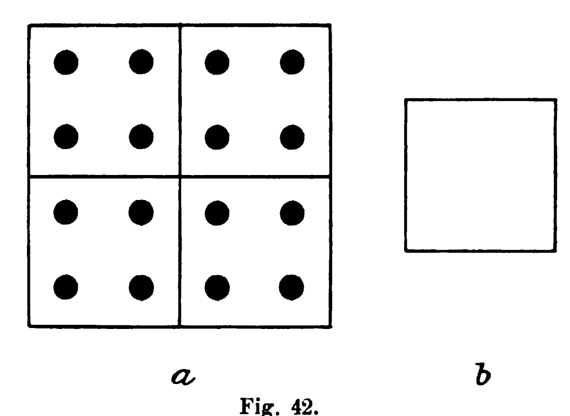


Fig. 42.
a. Vier Zählquadrate mit je vier symmetrisch liegenden Blutkörperchen.
b. Quadrat auf dem Pauspapier.

dem Grund und den beiden Rändern der eingeritzten Rinne (bzw. des Teilstriches) entsprechen. Eine Berührung dieser Kante wird nur angenommen, wenn die Kante durch das Blutkörperchen deutlich eingebuchtet erscheint.

Liegen Blutkörperchen dort, wo die obere und linke oder die untere und rechte Kante zusammenstoßen, so kann die Entscheidung schwierig werden, ob die Körperchen zu dem betreffenden Quadrate zu zählen sind oder nicht. Zur Orientierung zeichne man sich auf Papier, das in qmm geteilt ist, eine Reihe größerer unter sich gleicher Quadrate und ordne in diesen je 4 Blutkörperchen symmetrisch an (Fig. 42a). Dann übertrage man die Grenzlinien eines solchen Quadrates (Fig. 42b) auf Pauspapier, lege dieses auf das quadrierte Papier und verschiebe das isolierte Quadrat parallel zu den darunterliegenden, durch das Pauspapier sichtbaren Quadraten. Bei richtiger Auszählung müssen in jeder Lage sich 4 Körperchen für 1 Quadrat ergeben.

Aus dieser Orientierung geht hervor, daß die in Fig. 43 angedeuteten Blutkörperchen nicht mitgezählt werden dürfen, obwohl sie die obere und die rechte Kante von außen berühren. Symmetrieachse ist eben die ange-

deutete Linie SS, alles was nach oben und rechts von dieser an den Kanten liegt, wird mitgezählt, alles was nach unten und links die Kanten deckt oder berührt, wird weggelassen. Da die Achse die angedeuteten Blutkörperchen in einen gleich großen Plus- und Minusteil trennt, so ist die algebraische Summe gleich null. Aus analogen Gründen muß das in Figur 44 angedeutete Blutkörperchen + mitgezählt werden, das Blutkörperchen — aber unberücksichtigt bleiben.

Gelegentlich kann die Unterscheidung der Erythrozyten von den etwa gleich großen Lymphozyten ohne weiteres Schwierigkeiten bereiten, man braucht aber nur den Tubus zu heben, um an dem zunehmenden Glanz den stärker lichtbrechenden Lymphozyten zu erkennen.

Um rasch und sicher die Zählung vorzunehmen, muß man sich daran gewöhnen, bestimmte Gruppenbilder von Blutkörperchen sofort als Zahlenbilder aufzufassen und nicht jedes einzelne Blutkörperchen für sich zu zählen. Typisch ist z. B., daß ein Blutkörperchen von vier andern

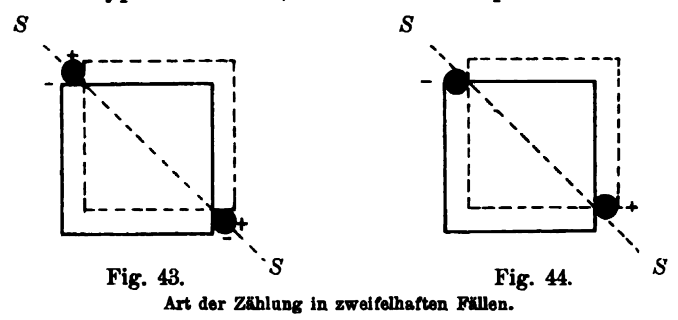


Fig. 43. Fig. 44.
Art der Zählung in zweifelhaften Fällen.

umgeben ist, bei welchem Anblicke sich sofort die Zahl fünf aufdrängt. Auch hat man zu beachten, daß vereinzelt rote Blutkörperchen an der Unterseite des Deckglases haften bleiben[1]), weshalb man bei genauen Zählungen den Tubus tief und hoch einstellen sollte. Nach dem Eintragen des Zählresultates in das entsprechende Quadrat des Schemas überfliegt der Blick zur Kontrolle noch einmal das Quadrat der Zählfläche, bevor ein neues zur Auszählung eingestellt wird.

Ganz ähnlich geschieht die Zählung, wenn nicht ein Objektnetzmikrometer sich auf der Zählfläche befindet, sondern wenn die Abgrenzung des Quadrates von $\frac{1}{400}$ qmm im Okular vorgenommen wird.

Bei der 200-fachen Verdünnung und 0,1 mm Kammerhöhe zählt man immer 80 Quadrate oder ein Mehrfaches von 80 durch, und zwar immer von der Gesamtzahl die eine Hälfte in der einen, die andere in der anderen Abteilung der Zählkammer. Beginnt man immer in der linken oberen Ecke des Zählnetzes, so zählt man in der oberen Abteilung auf dem der Einfüllungsstelle zugewendeten Teile des Zählnetzes, in der unteren auf dem der Einfüllungsstelle abgewendeten Teile, wie es sein soll. Für genauere Versuche zählt

1) In einem speziellen Falle fand Verfasser 0,4% haften. Mit diesem Fehler des Haftens an der Decke des Zählraumes muß bei jeder Zählmethode, welche einen Zählraum benutzt, gerechnet werden.

man zweimal 80 Quadrate in der einen Abteilung und ebensoviele in der anderen, im ganzen also 320 Quadrate. Indem man die in die Quadrate der Schemata eingetragenen Zählresultate nach Transversal- oder Sagittalreihen addiert, ergibt sich, ob die Blutkörperchen in den in Betracht kommenden Grenzen gleichmäßig verteilt waren. Bei doppelter Kammerhöhe zählt man unter sonst gleichen Verhältnissen immer nur 40 Quadrate oder ein Mehrfaches von 40 aus.

Die Berechnung ist sehr erleichtert. Hat man bei 200-facher Verdünnung in 80 bzw. 40 Quadraten 536 rote Blutkörperchen gezählt, so sind in 1 cmm Blut 5,36 Millionen enthalten, man hat also nur mit 0,01 zu multiplizieren. Ergab die Auszählung von 320 bzw. 160 Quadraten 2108 Blutkörperchen, so entspricht dies einem mittleren Gehalte von $\frac{2108}{4} = 527$ in 80 bzw. 40 Quadraten oder 5,27 Millionen in 1 cmm Blut. Mehr als zwei Dezimalen anzugeben, ist sinnlos.

Muß die Zählung unterbrochen werden, oder dauert sie längere Zeit, so wird die Zählkammer mit der beschriebenen feuchten Kammer umgeben, um die bei der offenen Kammer leicht eintretende Verdunstung der Verdünnungsflüssigkeit zu verhindern. Die feuchte Kammer ist in ihren Dimensionen so bemessen, daß sie das Zählen mit dem Mikroskope nicht stört. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist die feuchte Kammer entbehrlich.

Sofort nach der Zählung wird die Zählkammer sorgfältig nach den obigen Angaben gereinigt und so zusammengesetzt, daß jederzeit eine neue Zählung angeschlossen werden kann.

Eine genauere Prüfung des Zählapparates und der einzelnen Phasen der Zählung hat folgendes ergeben (s. auch S. 36 u. f.).

Die Zählkammer ist völlig unabhängig vom Luftdruck, auch wenn dieser rasch und intensiv schwankt; das hat sich mit Hilfe der erwähnten optischen Interferenzmethode (S. 37) gezeigt[1].) Man könnte aber daran denken, daß das die Zählfläche überbrückende Deckglas durchgebogen und bei der Füllung der Kammer durch Kapillarattraktion der Zählfläche genähert und damit die Kammerhöhe verkleinert werden könnte. Daß dies aber praktisch nicht der Fall ist, kann leicht mit der gleichen Methode nachgewiesen werden[2]). Auch die Temperatur, wie sie gewöhnlich in den Versuchsräumen schwankt, kann keinen praktisch in Betracht kommenden Einfluß auf die Konstanten der Kammer haben[3]).

Die Bedingungen, welche an eine brauchbare Verdünnungsflüssigkeit gestellt werden müssen, daß sie nämlich die roten Blutkörperchen gut konserviert und nicht zu schwer flüssig ist, daß sie keine zu geringe Dichte und keinen zu großen Brechungsexponenten hat, daß sie weiterhin leicht und vollständig aus dem Zählraum und den Pipetten entfernt werden kann und dabei haltbar ist, erfüllt die Hayemsche Lösung noch am besten[4]). Sie konserviert die roten Blutkörperchen gut, allerdings in Glockenform; mißlich

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1905, 6, S. 432.
2) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1905, 6, S. 431.
3) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1905, 6, S. 432.
4) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 358.

ist, daß nach 4—5 Tagen in der Blutmischung feine Niederschläge entstehen und die Blutkörperchen Neigung zu Agglutination zeigen. Die Leichtflüssigkeit der Lösung ergibt sich aus dem Werte der inneren Reibung, welcher, auf Wasser als Einheit bezogen, bei einer Dichte von 1,015 und bei 15° C nur 1,05 beträgt. Ihr Brechungsexponent 1,335 unterscheidet sich von dem des Wassers 1,333 nur sehr wenig; ist der Brechungsexponent zu groß, so sieht man das Zählnetz nicht mehr. Die vollständige Entfernung der Lösung bzw. der mit ihr hergestellten Blutmischung aus Zählraum und Pipetten bietet keine Schwierigkeit. Die Lösung selbst ist haltbar genug, ein feiner Bodensatz, der nach einiger Zeit entsteht, stört nicht, da die Lösung nicht durchgeschüttelt zu werden braucht. Vorteilhaft wäre, wenn die Dichte der Lösung noch etwas erhöht werden könnte[1]).

Der Fehler, welcher der exakten Abmessung der Verdünnungsflüssigkeit in das Rundkölbchen hinein anhaftet, ist etwa 100mal kleiner als der Fehler einer ganzen Zählung, kommt also gar nicht in Betracht[2]). Um eine Verdunstung der Verdünnungsflüssigkeit zu verhindern, hält man das Kölbchen möglichst verschlossen.

Daß sich die Entziehung und Verdünnung des Blutes mit den beschriebenen Apparaten recht genau vornehmen läßt, hat sich dadurch ergeben, daß die Zählfehler etwa gleich groß sind, ob man nun jeden Tag das Blut frisch entzieht, verdünnt und auszählt oder ob man die Zählung in einer konstanten Blutmischung vornimmt[3]). Noch nicht veröffentlichte Versuche haben ferner Verfasser ergeben, daß es dabei gleichgültig ist, ob man das Blut aus der Fingerkuppe, dem Ohrläppchen oder den großen Venen des Armes entzieht; die Zusammensetzung des Blutes ist in bezug auf die Erythrozytenzahl in all diesen Gefäßprovinzen die gleiche, sofern man in der Vene jede Stauung des Blutes vermeidet.

Die Abmessung des Blutes mit der Blutpipette ist mit keinem größeren Fehler als 0,3 % behaftet. Bei einer Länge der Blutsäule von 80—90 mm und bei der Möglichkeit, den Meniskus mit einem maximalen Fehler von 0,2 mm an der Ringmarke einzustellen, berechnet sich der obige Fehler[4])

Bei der Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit ist notwendig, daß das Schwenken abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen erfolgt. Über die Art der Mischung kann man sich dadurch orientieren, daß man leichte Pflanzensamen (Levkoie) oder andere korpuskuläre Elemente von der Form der roten Blutkörperchen in einer geeigneten Flüssigkeit suspendiert und in einem Rundkolben in der angegebenen Weise schwenkt. In der Hayemschen Lösung senken sich die roten Blutkörperchen, unterstützt von der Form des Mischgefäßes, rasch auf den Boden desselben, dort wo er am tiefsten ist, und bleiben, von der reinen Verdünnungsflüssigkeit bedeckt, einige Tage brauchbar zur Zählung, so daß an eine Zählung an einem der nächsten Tage leicht eine Kontrollzählung angeschlossen werden kann.

Die Übertragungspipetten mit ihrem relativ weiten Lumen bringen viel weniger die Gefahr einer Entmischung nahe als die Mischpipetten, bei

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 361.
2) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 360.
3) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 353.
4) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 361.

welchen die Blutmischung durch eine enge Kapillare hindurchgetrieben werden muß, bevor sie auf die Zählfläche gelangt. Die Übertragungspipetten innen mit festem Paraffin zu überziehen, um eine Benetzung zu verhindern, ist eher schädlich als nützlich[1]). Unbedingt nötig ist, daß die Übertragung der Blutmischung möglichst rasch geschieht.

Es scheint besser zu sein, das Deckglas der Zählkammer an der Einfüllungsstelle abzurunden und zu polieren, als es eckig und matt sein zu lassen[2]).

Die Füllung der Zählkammer soll möglichst luftbläschenfrei erfolgen, was auch im allgemeinen der Fall ist; Verfasser hat bei 30 hintereinander erfolgten Füllungen nicht ein einziges Mal eine Luftblase mit eindringen sehen. Übrigens schaden kleine Luftbläschen nicht, sofern sie sich nicht auf dem Zählnetz befinden und die Verteilung der Blutkörperchen nicht ungünstig beeinflußt haben.

Bei dieser Füllung der Zählkammer durch Kapillarität könnte man einwenden, daß die Verdünnungsflüssigkeit in stärkerem Maße eindringt als die in ihr suspendierten Körperchen; es ist dies aber nicht der Fall, denn sonst müßte die Zahl der Körperchen von der Einfüllungsstelle an bis zur gegenüberliegenden Rinne beständig abnehmen, was nicht zutrifft. Die in die Schemata eingetragenen Zahlen zeigen außerdem deutlich, daß die Verteilung der Körperchen in den hier in Betracht kommenden Grenzen eine gleichmäßige ist. Voraussetzung ist, daß der Zählraum hoch im Vergleich zum Durchmesser der Blutkörperchen ist. Bei Zählung menschlicher Blutkörperchen ist der Raum etwa 13 mal höher, als ein Blutkörperchen breit ist. Sind große Blutkörperchen zu zählen, so stellt man eine Kammerhöhe von 0,200 mm dadurch her, daß man das mit dem Einschliff von 0,100 mm Tiefe versehene Deckglas (S. 59) auflegt.

Die beschriebene Prüfung auf gleichmäßige Verteilung der Blutkörperchen ist der Prüfung mit Hilfe des Mikroskops vorzuziehen, weil in letzterem das Gesichtsfeld zu beschränkt ist und der Übergang von einer dünner gesäten Fläche zu einer dichter gesäten zu allmählich ist.

Als außerordentlich nützlich hat sich erwiesen, daß die beiden Abteilungen der Zählkammer unabhängig voneinander gefüllt werden können, und daß bei ein und derselben Deckglasauflage zu einer Zählung in der einen Abteilung eine Kontrollzählung in der anderen Abteilung vorgenommen werden kann. Auch daß im Bereich einer 9 qmm großen Fläche gezählt werden kann, statt auf 1 qmm, wie in der Thoma-Zeißschen Kammer, ist von Vorteil. Kommen unter diesen Umständen in einer Abteilung auch einmal größere Abweichungen vor, so werden sie meist in der anderen Abteilung korrigiert, so daß der Mittelwert immer recht brauchbar ist.

Daß die Zählkammer selbst praktisch unabhängig von der Temperatur ist, wurde schon früher (S. 66) erwähnt, aber auch die Zählmethode ist es sicher in dem Temperaturintervall von 5—25° C. Auch eine Abhängigkeit der Methode vom Luftdruck besteht nicht (S. 66)[3]). Bei einer vergleichenden

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 363.
2) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 365.
3) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 368.

Zählung, welche A. v. Korányi[1]) im Tieflande und Hochgebirge an einer konstanten Blutmischung mit der Thoma-Zeißschen Kammer und mit der des Verfassers vornahm, erhielt der Autor mit ersterer Kammer oben höhere Werte als unten, mit letzterer oben und unten die gleichen Werte, wie es sein muß. Auch auf die Prüfung der Zählkammer durch F. Bloch[2]) sei hiermit verwiesen.

Zum Vergleich mit der Seite 26 erwähnten Versuchsreihe, welche C. F. Lyon an seinem Blute mit der Thoma-Zeißschen Methode durchgeführt hat, seien die Resultate 7tägiger Versuche mitgeteilt, welche Verfasser mit seiner Methode an seinem Blute gewonnen hat.[3])

Versuchstag	Zahl der Blutkörperchen im Kubikmillimeter Blut in Millionen	Körpergewicht nach entleerten Kleidertaschen in kg
1.	5,25	89,5[4])
2.	5,37	89,3
3.	5,32	—
4.	5,33	89,6
5.	5,20	—
6.	5,17	89,5
7.	5,12	—

Während Lyon bei einer Zählung von je 5000 Blutkörperchen einen mittleren Fehler jeder einzelnen Zählung von 3,0 % und einen mittleren Fehler des Mittelwertes von 1,1 % erhielt, E. Reinert[5]) sogar einen mittleren Fehler von 4,6 % für die einzelne Zählung, betrugen bei dem Versuche des Verfassers, bei welchem durchschnittlich nur je 2100 Blutkörperchen zur Zählung kamen, die entsprechenden Fehler nur 1,8 bzw. 0,7 %.

16. Die Methode von Hayem-Sahli (1909)[6]).

Die Methode von G. Hayem (S. 14) hat H. Sahli wieder aufgenommen und sie in einigen Punkten modifiziert.

Der Apparat besteht aus:

1. Einem Okular III mit eingeschraubtem Zählnetz nach Hayem (Fig. 8, S. 15), welches ein in 16 kleine Quadrate eingeteiltes großes Quadrat darstellt. Die kleinen Quadrate dienen nur zur Orientierung, als Zähleinheit kommt bloß das große Quadrat in Betracht. Die Augenlinse des Okulars ist durch Ausziehen verschiebbar und läßt sich auf die Teilung scharf einstellen, welche im Gegensatz zu anderen Teilungen tiefschwarz auf weißem Grunde erscheint. Bei Leitzschen Mikroskopen benutzt man Objektiv 6. Die erforderliche Tubuslänge von 170 mm ist durch eine automatische Einschnappvorrichtung an den besonders für diesen Zweck eingerichteten Stativen markiert.

---

1) A. v. Korányi, Lit.-Verzeichnis 1908, 4, S. 68.
2) F. Bloch, Lit.-Verzeichnis 1912, 11.
3) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1911, 5, S. 352.
4) Gewicht am Tage vorher.
5) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 59.
6) H. Sahli, Lit.-Verzeichnis 1909, 6, S. 854, 861 und S. 3 des Prospektes der optischen und mechanischen Werke von E. Leitz, Wetzlar.

2. Einer rot bezeichneten Pipette zur Abmessung von 250—500 cmm Verdünnungsflüssigkeit, auf Ausfluß geeicht (Fig. 45). Als Verdünnungsflüssigkeit wird Hayemsche oder, zur besseren Unterscheidung der roten Blutkörperchen von den weißen, Toisonsche Lösung empfohlen, bestehend aus

Aq. destill.	160,0 g
Glyc. neutr. 30° B	30,0 g
Natr. sulf.	8,0 g
Natr. chlorat.	1,0 g
Methylviolett 5 B	25,0 mg (siehe dagegen S. 76),

ferner auch noch 3 %-ige Kochsalzlösung mit $\frac{1}{100000}$ Gentianaviolett.

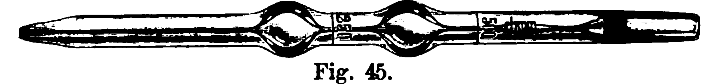


Fig. 45.
Pipette für die Verdünnungsflüssigkeit nach H. Sahli.

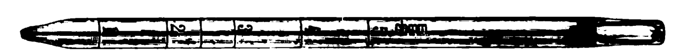


Fig. 46.
Blutpipette nach H. Sahli.

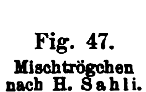


Fig. 47.
Mischtrögchen nach H. Sahli.

3. Einer rot bezeichneten Pipette von 1—5 cmm Inhalt zum Abmessen des Blutes (Fig. 46).

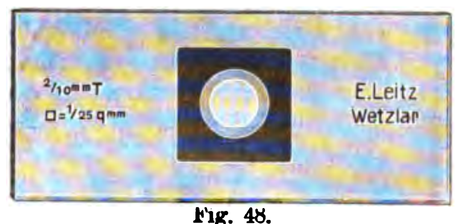


Fig. 48.
Zählkammer von 2/10 mm Tiefe nach H. Sahli.

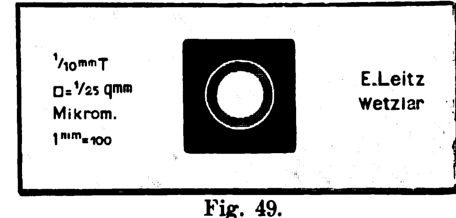


Fig. 49.
Zählkammer von 1/10 mm Tiefe nach H. Sahli.

4. Einem rot bezeichneten Glasträgchen mit Fuß zur Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit (Fig. 47), das mit einem fein eingeschliffenen Glasstöpsel verschlossen werden kann.

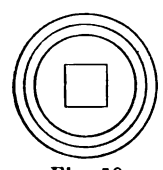


Fig. 50.
Durch konzentrische Kreise markiertes Quadrat auf der Zählfläche zur Einstellung der Okularblende nach H. Sahli.

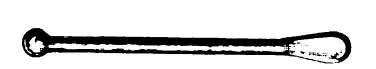


Fig. 51.
Glasspatel zum Mischen von Blut und Verdünnungsflüssigkeit nach H. Sahli.

5. Zwei Kammern von $\frac{2}{10}$ und $\frac{1}{10}$ mm Tiefe ohne Objektnetzmikrometer (Fig. 48 und 49) mit planparallelen Deckgläsern. Auf den Boden der Kammern ist jedoch ein von drei konzentrischen Kreisen umgebenes Quadrat von $\frac{1}{5}$ mm Seitenlänge, in Figur 50 vergrößert dargestellt, eingeritzt, welches zur Kontrolle der richtigen Tubuseinstellung

dient, indem es mit dem Okularquadrat zur Deckung gebracht wird. Der Boden der $\frac{1}{10}$ mm tiefen Kammer trägt außerdem für die Verwendung bei starken Vergrößerungen einen Mikrometermaßstab, 1 mm in 100 Teile geteilt. Auch eine Bürkersche Kammer (S. 57), in diesem Falle ohne Teilung, von $\frac{2}{10}$ und $\frac{1}{10}$ mm Tiefe kann Verwendung finden.

6. Einem Glasspatel zum Umrühren der Blutmischung (Fig. 51). Es hat sich dieses Mischverfahren vorteilhafter erwiesen als das einfache Schütteln des mit dem Stöpsel versehenen Mischtroges.

7. Einem verschiebbaren Objekttisch mit automatischer Einschnappvorrichtung (Fig. 52), durch welchen das Zählpräparat jeweils um etwas mehr als den Durchmesser

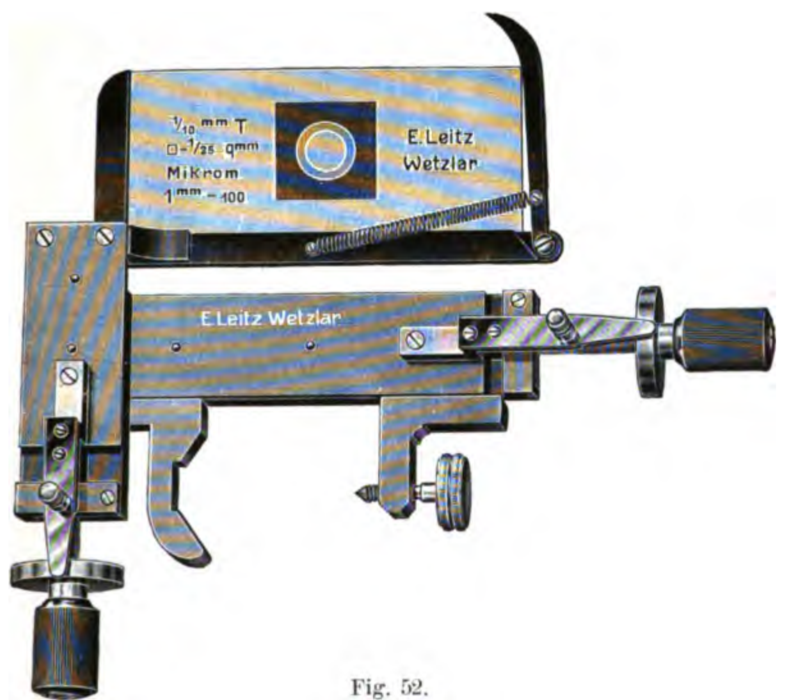


Fig. 52.
Verschiebbarer Objekttisch für die Zählkammer mit automatischer Einschnappvorrichtung nach H. Sahli.

des Zählquadrates transversal und sagittal verschoben werden kann. Das Einschnappen ist beim Drehen fühlbar, so daß die Verschiebung ohne hinzusehen vorgenommen werden kann. Die Einschnappvorrichtung läßt sich durch Drehen einer Schraube leicht ausschalten, der Apparat kann dann auch als einfacher verschiebbarer Objekttisch benutzt werden.

8. Tabellen, welche direkt die Erythrozytenzahl pro Kubikmillimeter Blut je nach der mittleren, in einem Zählquadrat enthaltenen Körperchenzahl bei bestimmter Verdünnung und Kammertiefe angeben.[1])

Zur Vornahme einer Zählung werden 500 cmm Verdünnungsflüssigkeit in das Glaströgchen abgemessen, 2 cmm Blut zugefügt und die Blut-

1) Der Apparat samt Zubehör wird von den optischen und mechanischen Werken E. Leitz in Wetzlar geliefert.

pipette durch mehrfaches Hinundhersaugen gut ausgespült. Durch lebhaftes, wenigstens 5 Minuten dauerndes Umrühren mittels des Glasspatels wird dann die Mischung vorgenommen. Unmittelbar nach dem Rühren wird ein kleiner Tropfen durch die nochmals mit der Blutmischung ausgespülte Blutpipette oder durch eine kapillar ausgezogene trockene Glaspipette rasch in die Zählkammer übertragen und sofort, bevor die Blutkörperchen sich senken können, mit dem Deckglas unter Erzeugung Newtonscher Streifen bedeckt. Nach einer Minute haben sich die roten Blutkörperchen auf den Kammerboden gesenkt, worauf man sich überzeugt, ob die Verteilung derselben eine gleichmäßige ist; ist dies nicht der Fall, so muß eine neue Füllung vorgenommen werden.

Bei richtig eingestelltem Mikroskop zählt man, unterstützt durch den verschiebbaren Objekttisch mit der automatischen Einschnappvorrichtung, wenigstens 25 große Quadrate des Zählokulars (Zähleinheiten) durch, für approximative Werte kann man sich auf 6—10 Quadrate beschränken. Durch Division der gefundenen Zahl durch die Anzahl der ausgezählten Quadrate und durch Multiplikation des erhaltenen Mittels mit 125 (in $\frac{1}{125}$ cmm wurde bei Verwendung der Kammer von $\frac{1}{5}$ mm Tiefe gezählt) und 251 (der Verdünnungszahl), also im ganzen mit 31375, ergibt sich die Anzahl Blutkörperchen in 1 cmm Blut. Bei Verwendung der $\frac{1}{10}$ mm tiefen Kammer ist der Multiplikationsfaktor doppelt so groß. Aus den Tabellen kann der Gehalt auch direkt abgelesen werden.

Bezüglich der Bewertung der Methode gilt im allgemeinen dasselbe, was bei der Hayemschen mit ihren Verbesserungen durch Nachet gesagt wurde (S. 17).

Bei der Verwendung des Mischtrögchens mit dem fein eingeschliffenen Glasstopfen muß damit gerechnet werden, daß Verdünnungsflüssigkeit in höherem Maße zwischen Trögchen und Stopfen gelangt als Blutkörperchen; es wäre besser, wenn eine Benetzung des Stopfens nicht stattfände.

17. Die Methode von W. Geissler (1911)[1]).

Ganz ähnlich wie zuerst Vierordt schon im Jahre 1852 (S. 6) zählte, verfährt neuerdings wieder Geissler, der Blut 40000-fach mit physiologischer Kochsalzlösung verdünnt und von dieser Blutmischung 10 cmm auf einen, mit einer gefelderten Kreisfläche versehenen, planen Objektträger bringt; der Durchmesser der Kreisfläche beträgt etwa 1,5 cm[2]), die Felderung geschieht durch eingeritzte sich durchkreuzende Linien. Zum Austrocknen kommt das Präparat in einen Brutschrank, wird dann in Alkohol fixiert, mit Eosin und Methylenblau gefärbt, nach Beseitigung des überschüssigen Farbstoffes getrocknet und schließlich auf einem verschiebbaren Objektträgertisch unter

1) W. Geissler, Lit.-Verzeichnis 1911, 8.

2) Bei einem dem Verfasser von der optischen Werkstätte C. Zeiß in Jena zur Prüfung überlassenen Geisslerschen Apparate war die Zählfläche quadratisch (1,8 cm^2).

dem Mikroskop ausgezählt. Die gefundene Blutkörperchenzahl ist mit 4000 zu multiplizieren, um die in 1 cmm Blut enthaltene Zahl zu erfahren. Der Objektträger wird nach der Zählung in Salzsäurealkohol für mehrere Minuten eingelegt und dann mit einer feinen Bürste und warmem Wasser gereinigt.

Etwa dieselben Einwände, welche gegen die Methoden von Vierordt und Welcker erhoben wurden (S. 9), gelten auch für die Geisslersche Methode.

18. Die Methode von P. v. Grützner (1912).[1]

Der Autor hat die Bürkersche Zählmethode (S. 57) im Prinzipe übernommen, er verwendet aber zur Abgrenzung der Zählquadrate eine besondere, ins Okular des Mikroskops einzufügende Blende.

Die Zählkammer (Fig. 53) hat bei abcd ihre Zählfläche, bei I I und II II die Deckglasträger. Durch Auflegen des Deckglases $D_1D_2D_3$ wird eine Kammerhöhe von

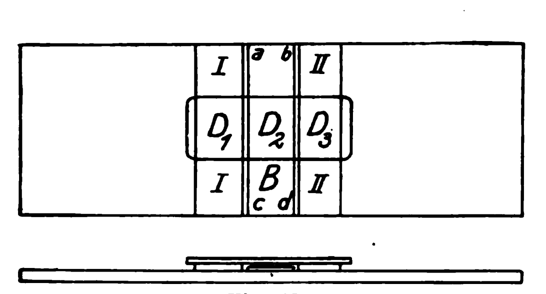
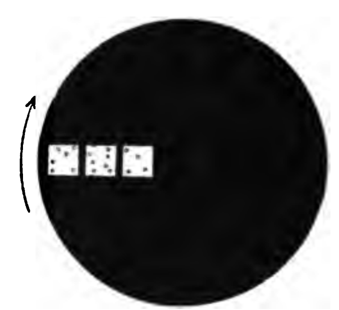


Fig. 53.
Zählkammer nach P. v. Grützner.
Von oben und von der Seite.


Fig. 54.
Okularblende mit drei quadratischen Ausschnitten nach P. v. Grützner.

0,1 mm hergestellt. Zwei federnde Klemmen, welche über das Deckglas entlang den Trägern geschoben werden, drücken das Glas unter Erzeugung Newtonscher Streifen an.

Die Okularblende (Fig. 54) zeigt 3 je 1 qmm große quadratische Ausschnitte, welche bei etwa 300-facher Vergrößerung auf der Zählfläche je $\frac{1}{400}$ qmm abgrenzen sollen; die Auswertung geschieht mit Hilfe eines Mikrometers. Die Blende kann, zusammen mit dem Okular, im Tubus gedreht werden.

Zum Apparate gehören noch zwei Pipetten und ein Rundkölbchen; die eine Pipette dient zur Abmessung von 20 cmm Blut, die andere zur Abmessung von 4 ccm Hayemscher Lösung (S. 15).[2]

Nach Füllung der Kammer mit dem 200-fach verdünnten Blute durch Kapillarität und Einstellung des Mikroskopes auf die Zählfläche sieht man in den Ausschnitten der Okularblende die Blutkörperchen liegen (Fig. 54). Man zählt zunächst die Körperchen im inneren Quadrat, wobei man Bruchteile derselben in Rechnung ziehen kann, dreht dann das Okular und damit die Blende im Sinne des Uhrzeigers so weit, bis neue Blutkörperchen eingestellt sind, zählt wieder, dreht weiter, bis schließlich der Ausschnitt wieder an seinem ursprünglichen Platze steht. Darauf wird die Zählung im Um-

1) P. v. Grützner, Lit.-Verzeichnis 1912, 7.
2) Der Apparat wird von der Firma W. und H. Seibert in Wetzlar angefertigt.

kreise des mittleren und schließlich des äußeren Quadrates vorgenommen. Im ganzen werden auf diese Weise etwa 58 Quadrate gezählt. Jetzt wird der Objektträger um 0,5 mm verschoben, die Zählung von neuem vorgenommen und so fortgefahren, bis eine genügende Anzahl von Blutkörperchen ermittelt ist. Die Berechnung ist die übliche.

Originell ist die Verwendung der drehbaren Okularblende. Von Vorteil wäre, wenn der Zählraum in zwei unabhängig voneinander zu füllende Abteilungen geteilt wäre.

Zur Markierung der Zahl der bei einer Erythrozytenzählung berücksichtigten Quadrate und der Anzahl der darin enthaltenen Blutkörperchen hat Tojbin [1]) eine besondere Zählmaschine „Cytax“ angegeben (Fig. 55),

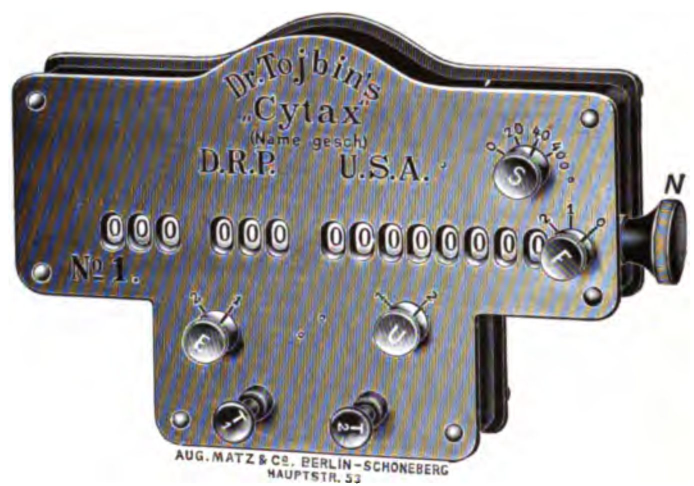


Fig. 55.
Zählmaschine „Cytax“ nach Tojbin.

mit der auch das Prozentverhältnis zweier verschiedener Arten von Erythrozyten ermittelt werden kann [2]).

Handelt es sich darum, nach der Zählung auch noch den mittleren Gehalt eines roten Blutkörperchens an Hämoglobin anzugeben, so braucht nur nach einer der in diesem Handbuch beschriebenen Methoden [3]), am besten nach der spektrophotometrischen (S. 281), die in 1 cmm Blut enthaltene Hämoglobinmenge bestimmt zu werden. Durch Division dieser Hämoglobinmenge durch die Erythrozytenzahl ergibt sich dann der Gehalt eines Erythrozyten an Hämoglobin, der beim Menschen etwa $30 \cdot 10^{-12}$ g beträgt [4]).

1) Tojbin, Lit.-Verzeichnis 1909, 10 und 1912, 8.

2) Zu beziehen von der Firma Aug. Matz & Co., Berlin-Schöneberg, Hauptstraße 53.

3) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1910, 11, S. 213.

4) Die früher angegebene Zahl $28 \cdot 10^{-12}$ g ist etwas zu klein. Siehe ferner L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1877, 3.

Die Ermittlung des sogenannten Zytenquotienten, Erythrozytenzahl: Leukozytenzahl, hat in der Hämatologie bis jetzt keine besondere Bedeutung erlangt, der Quotient Erythrozytenzahl: Thrombozytenzahl insofern, als die absolute Zahl der Thrombozyten vielfach auf dem Umwege über die absolute Erythrozytenzahl bestimmt wird, worüber Seite 141 nachzusehen ist.

B. Zählung der Erythrozyten mit Rücksicht auf die Art.

Die Erythrozyten sind beim Menschen und bei den verschiedenen Tieren nach Größe, Form und Inhalt verschieden, sie können klein oder groß, rund oder elliptisch, bikonkav oder bikonvex, kernlos oder kernhaltig sein (Fig. 56) [1]. Bei der Zählung dieser Erythrozyten mit den im vorhergehenden beschriebenen Methoden muß diesem Umstande Rechnung getragen werden, es muß die Verdünnungsflüssigkeit, die Blutpipette und die Kammerhöhe der Erythrozytenart angepaßt sein.

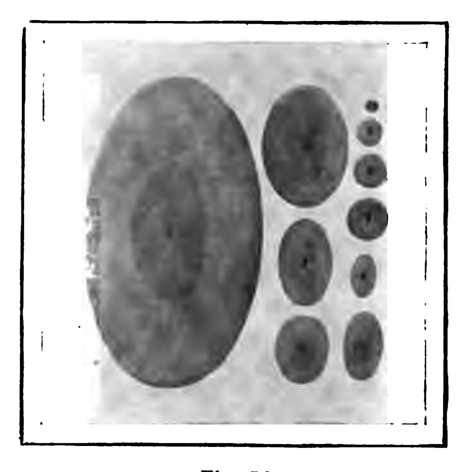


Fig. 56.
Photographie der Welckerschen Blutkörperchen-Modelle, die Blutkörperchen 1500:1 darstellend. 1. Proteus, 2. Frosch, 3. Eidechse, 4. Schleie, 5. Buchfink, 6. Lama, 7. Mensch, 8. Siebenschläfer, 9. Ziege, 10. Moschustier (nach Sobotta).

Früher (S. 12) wurde schon erwähnt, daß L. Malassez seine Verdünnungsflüssigkeit nicht für jede Art von Erythrozyten geeignet fand, und auch A. Storch[2]) beobachtete, daß sogar in Hayemscher Lösung Schweine- und besonders Ferkelerythrozythen starke Schrumpfungen aufwiesen. Verfasser fand, daß die Erythrozyten des Huhnes in Hayemscher Lösung zum Teil agglutinieren; auch stört beim Vogelblute die rasche Gerinnung des Blutes. Man wird also vor der Zählung zu prüfen haben, ob die Verdünnungsflüssigkeit Formveränderungen und, was ganz besonders wichtig ist, ob sie Agglutination und Gerinnung und damit ungleichmäßige Verteilung auf der Zählfläche veranlaßt. Unter Umständen wird man eine Verdünnungsflüssigkeit benutzen, welche einen Farbstoff zur besseren Unterscheidung der übrigen körperlichen Bestandteile des Blutes von den Erythrozyten enthält, wie Kochsalzlösungen mit Gentiana- oder Methylviolett, Neutralrot, Toluidinblau, Brillantkresylblau oder Nilblau[3]). Von diesen durch Pappenheim empfohlenen Farbstoffen hat Verfasser Toluidinblau und Brillantkresylblau geprüft, in 0,9 %-iger Kochsalzlösung hat sich letzteres

1) Über Morphologie der Erythrozyten, über Vergleichend-Anatomisches und Historisches siehe die S. 3, Anm. 1 zitierten Arbeiten. Allgemein Histologisches über den Zellkern überhaupt, über Nukleolen und über die Granulalehre siehe bei M. Heidenhain, Lit.-Verzeichnis 1907, 10.

2) A. Storch, Lit.-Verzeichnis 1901, 2, S. 18.

3) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1911, 6, S. 236.

als sehr geeignet zur Färbung menschlicher Leukozyten und Thrombozyten erwiesen, während ersteres schwächer färbte und Agglutination der Erythrozyten veranlaßte. Vor der von verschiedenen Untersuchern empfohlenen, auf Seite 70 angegebenen Toisonschen Lösung[1]) warnt W. Türk[2]) lebhaft.

Der Größe der Blutkörperchen hat man die Weite der Blutpipetten, die Höhe des Zählraumes und die Art des Zählnetzes anzupassen.

Beim Menschen beträgt der mittlere Durchmesser eines roten Blutkörperchens 7,5 μ, für die meist in Betracht kommenden Wirbeltiere sei der oder seien die mittleren Durchmesser in runden Zahlen zur vorläufigen Orientierung[3]) in der folgenden Tabelle mitgeteilt.

Tierart		Mittlerer oder mittlere Durchmesser der Erythrozyten in μ
Säugetiere	Affe	7
	Hund	7
	Katze	6
	Maus	6
	Kaninchen	7
	Meerschweinchen	7
	Pferd	6
	Ochse	6
	Kuh	6
	Schwein	6
	Schaf	5
	Ziege	4
Vögel	Huhn	12 und 7
	Taube	14 „ 8
	Sperling	12 „ 7
Reptilien	Schildkröte	21 „ 12
	Eidechse	16 „ 9
	Ringelnatter	20 „ 12
Amphibien	Frosch u. Kröte	22 „ 16
	Salamander	40 „ 25
	Proteus anguineus	58 „ 35
Fische	Neunauge	15 „ 15
	Rochen	25 „ 14
	Barbe	15 „ 5
	Aal	15 „ 12
	Seezunge	12 „ 9

1) J. Toison, Lit.-Verzeichnis 1885, 8.

2) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 60.

3) Zur genaueren Orientierung siehe H. Welcker, Lit.-Verzeichnis 1863, 1, S. 279, W. Manasseïn, Lit.-Verzeichnis 1872, 2 und M. Bethe, Lit.-Verzeichnis 1891, 4, S. 6. In der Arbeit von Manasseïn wird über den Einfluß einer ganzen Reihe von Momenten auf die Dimensionen der roten Blutkörperchen berichtet, die Arbeit enthält auch sehr viele Literaturangaben.

Werden demnach in der **Blutpipette** 25 cmm menschliches Blut abgemessen und ist die Blutsäule bis zur Marke 90 mm lang, so beträgt der innere Durchmesser der Pipette 0,6 mm, ist also 80 mal größer als der Durchmesser eines roten Blutkörperchens. Auch die übliche Kammerhöhe von 0,100 mm übertrifft den Durchmesser eines Blutkörperchens um das 13-fache. Bei Zählung der roten Blutkörperchen von Proteus anguineus mit denselben Instrumenten wäre die Pipette immer noch 10 mal weiter, die Kammer aber nur 2 mal höher als der größte Durchmesser eines Blutkörperchens, also jedenfalls zu niedrig.

Auch die **Einheit der Zählfläche** wird man zweckmäßig zu der Größe der Blutkörperchen in eine bestimmte Beziehung bringen. Rechnet man bei Zählung menschlicher roter Blutkörperchen 6,3 Körperchen im Mittel auf $\frac{1}{400} = 0{,}0025$ qmm, so ist diese Zählfläche etwa 9 mal größer als die Fläche, welche die 6,3 Blutkörperchen bedecken $(0{,}000044 \cdot 6{,}3 = 0{,}000277)$. In ein ähnliches Verhältnis wird man bei andern Erythrozyten die von den Blutkörperchen bedeckte Fläche zu der als Einheit gewählten Zählfläche bringen, denn 6—7 Blutkörperchen im Quadrat sind bequem zu zählen. Im ganzen gehen nur etwa 45 Blutkörperchen, ohne sich zu überdecken, auf ein kleines Quadrat.

Schließlich muß auch noch ein **geeigneter Verdünnungsgrad** gewählt werden, damit der genannte Fall eintritt, und endlich muß das **Zählnetz entsprechend groß** sein, damit auch die nötige Anzahl von Blutkörperchen zur Zählung gelangen kann; für genauere Versuche sollte man nicht unter 2000 Körperchen zählen.

Die **Erythrozyten** sind aber nicht nur beim Menschen und bei den verschiedenen Tieren verschieden, sie können auch, wie insbesondere **P. Ehrlich** und seine Schule gezeigt hat, **im Blute ein- und desselben Individuums wechselnde Form und wechselnden Inhalt** haben, was vor allem bei veränderter Funktion der blutbereitenden Organe der Fall ist. Neben Normozyten können Mikro- und Makrozyten, Megalo- und Poikilozyten, Normo- und Megaloblasten im Blute auftreten (Taf. I, Fig. A, bei S. 78).

Mikrozyten sind kleiner als Normozyten und oft kugelig, **Makrozyten** sind größer. **Megalozyten**, nach **O. Naegeli** „morphologische wie funktionelle Riesen“, mit viel Hämoglobin kommen im embryonalen Blute und im Blute des Erwachsenen beim Rückschlag in die embryonale Blutbildung vor. **Poikilozyten**, auch **Schistozyten** genannt, entstehen beim Erhitzen des Blutes und bei schweren Anämien; statt der Scheibenform kommt es in diesen Fällen zu Birnen-, Luftballon-, Schiffchen- und Hantelformen, die auch noch gewisse Bewegungen zeigen. Nach **P. Ehrlich**[1]) entstehen die Poikilozyten durch Abschnürung aus Erythrozyten zu dem Zwecke, die respiratorische Oberfläche bei geringer Erythrozytenzahl auf diese Weise zu vergrößern. **Normoblasten** sind die kernhaltigen Vorstufen der Normozyten, **Megaloblasten** die kernhaltigen Vorstufen der Megalozyten. Bei jungen Normoblasten zeigt das Chromatin eine Anordnung wie die Speichen eines Rades (**Radspeichenform Pappenheims**), bei alten ist die Chroma-

1) **P. Ehrlich** und **A. Lazarus**, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 35.

tinstruktur verwischt, der Kern pyknotisch. Unter Umständen sind Mitosen vorhanden, der Kern kann aber auch im Zerfall und in der Auflösung begriffen sein (Karyorhexis und Karyolysis). Den Megaloblasten ist ein großer Kern und ein umfangreiches Protoplasma eigen, der Kern dieser Gebilde ist schwächer färbbar, sein Chromatingerüst zarter. Megaloblasten und Megalozyten sind ontogenetisch und phylogenetisch älter als Normoblasten und Normozyten.

Die roten Blutkörperchen können ferner einen verschiedenen Gehalt an Hämoglobin haben, neben Isochromie kann Anisochromie in Form von Hyper- und Hypochromie bestehen, erstere im embryonalen Blut, letztere bei Chlorose, Blut- und konsumierenden Krankheiten. Und endlich können die roten Blutkörperchen, statt orthochromatisch zu sein und den sauren Farbstoff (Eosin) zu binden, den basischen (Methylenblau) vorziehen, so daß Färbungen von rot nach blau zu (Polychromatophilie), und zwar in verschiedenem Grade zustande kommen, was bei zu jungen und zu alten Gebilden der Fall ist. Auch distinkte basophile Substanzen wie Kernreste, Howell-Jollysche Körper, Cabot-Schleipsche Ringkörper (offenbar Randstreifen[1])) und basophile Körnchen (basophile Punktierung) können das normale Bild komplizieren (Taf. I, Fig. B)[2]).

Zum Studium der verschiedenen Erythrozytenarten ist das Blut ganz junger Embryonen sehr geeignet.

Die Zählung und Differenzierung dieser verschiedenen Arten von Erythrozyten kann im Nativpräparate, nach Vitalfärbung, in der Zählkammer und im Trockenpräparate vorgenommen werden. Bei dieser Zählung hat man damit zu rechnen, daß die Arten nicht immer streng voneinander zu scheiden sind, sondern daß Übergänge von der einen zur andern Art bestehen[3]).

1. Schätzung der Erythrozytenarten im Nativpräparat.

Zur Herstellung des Nativpräparates müssen sorgfältig gereinigte Objektträger und Deckgläschen benutzt werden. Die Reinigung nimmt man in der Weise vor, daß man die noch ungebrauchten Objektträger und Deckgläschen in Leitungswasser, dem man etwas Salzsäure zugefügt hat, einträgt, nach einiger Zeit zuerst in reinem Leitungswasser, dann in destilliertem Wasser abspült, worauf man sie nach dem Abtrocknen mit einem möglichst fäserchenfreien leinenen Läppchen[4]) in Äther-Alkohol (zu gleichen Volumenteilen) aufhebt. Zum Gebrauch nimmt man sie aus dem Äther-Alkohol heraus, trocknet sie ab und befreit sie mit Hilfe eines feinen abgestaubten Haarpinsels von Fäserchen und Stäubchen.

Jetzt schreitet man in der früher beschriebenen Weise (S. 4) zur Blutentziehung, wischt den ersten austretenden Blutstropfen weg, berührt die Kuppe des folgenden mit einem der gereinigten Deckgläser, das

1) Über den Randstreifen der roten Blutkörperchen siehe M. Heidenhain, Lit.-Verzeichnis 1911, 13, S. 1058.

2) Über Morphologie der Erythrozyten siehe die S. 3, Anm. 1 zitierte Literatur.

3) Die bis zum Jahre 1892 geübten Methoden der Blutuntersuchung hat H. F. Müller in einem Referat zusammengefaßt, Lit.-Verzeichnis 1892, 2.

4) Auch Josefspapier wird zum Trocknen von P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898. 1, S. 20, empfohlen.

A

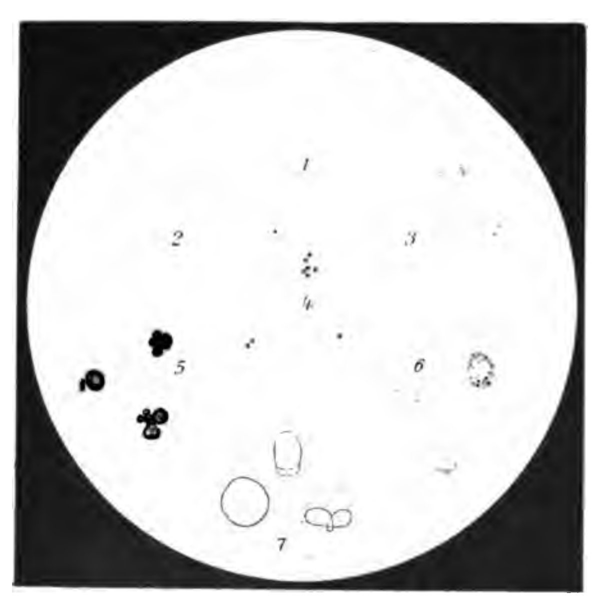


1. Normozyten
2. Mikrozyten
3. Makrozyten
4. Megalozyten
5. Poikilozyten
6. Normoblasten u. freie Kerne
7. Megaloblasten

Zu S. 77

Nach Abbildungen von O. Naegeli und K. Schleip kombiniert. (Verschiedene Färbungen.)

B



1. Isochromie
2. Anisochromie
3. Polychromasie
4. Howell-Jollysche Körper (rot)
5. Karyorhexis
6. Basophile Punktierung
7. Cabot-Schleipsche Ringkörper

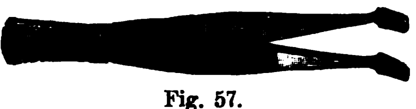
Zu S. 78

Bürker.

Verlag von S. Hirzel - Leipzig.

man mit einer Ehrlichschen (S. 82) oder mit der in Figur 57 abgebildeten Pinzette nach Kühne[1]) angefaßt hat, und hebt ein ganz kleines Tröpfchen ab. Sofort legt man das Deckglas mit dem Blutströpfchen nach abwärts auf den Objektträger, ohne einen Druck auszuüben, auf und umrandet es mit Paraffinum liquidum, das man in einen Haarpinsel aufgenommen hat. Bei dieser Anfertigung des Präparates muß die schädigende Wirkung, welche die Hautausdünstung und die Atemluft auf die Erythrozyten ausübt, verhindert werden.

Soll ein Druck möglichst vermieden werden, so kann der Objektträger mit dem Deckglase nach abwärts auf einen Hohlschliff oder einen Glasring aufgelegt werden; dabei ist auch durch Einbringen von Wasser, das aber das Blut nicht berühren darf, die Herstellung einer feuchten Kammer möglich.


Fig. 57.
Pinzette nach Kühne.

In dem Präparate kann man nun unter dem Mikroskope bei Benutzung eines Netzmikrometers im Okular mit Hilfe eines mittelstarken bis starken Trockensystemes eine, wenn auch nicht strenge Zählung, so doch eine vorläufige Schätzung der Erythrozyten nach Zahl und Art, besonders beim Vergleich mit einem normalen Präparate, vornehmen.

Zunächst wird man unter Berücksichtigung der Dicke des Präparates erkennen, ob höhere Grade von Oligo- oder Polyzythämie vorliegen. Bei verminderter Zahl ist auch die Geldrollenbildung vermindert. Als Mikrozyten wird man im menschlichen Blute Erythrozyten ansprechen, welche unter 6 μ Durchmesser aufweisen, als Makrozyten solche von mehr als 9 μ Durchmesser. Von den Makrozyten unterscheiden sich die Megalozyten durch ihren größeren Hämoglobinreichtum und durch das Fehlen einer Delle. Die Poikilozyten als solche zu erkennen wird nicht schwer halten, schwieriger wird sich die Diagnose der Normo- und Megaloblasten gestalten, da der Kern nicht immer deutlich zu sehen ist. Höhere Grade von Anisochromie werden dem Beobachter kaum entgehen, auch nicht das Vorhandensein einer allgemeinen Hypo- oder Hyperchromie. Der Geübte wird auch feststellen können, ob Polychromatophilie zu erwarten ist, auch distinkte, sich bei Färbung basophil erweisende Substanzen wird er wahrnehmen können.

Viele Einzelheiten erkennt man besser im Dunkelfelde des Mikroskopes mit Hilfe des Stephenson-Reichertschen Spiegel- oder Plattenkondensors oder des Siedentopfschen Paraboloidkondensors, wie besonders A. Dietrich[2]) gezeigt hat.

Immer kann es sich aber im Nativpräparate nur um eine vorläufige, freilich sehr nützliche Orientierung handeln. Abbildungen von Nativpräparaten sind im Schleipschen[3]) Atlas enthalten.

---

1) Zu beziehen von der Aktiengesellschaft für Feinmechanik vormals Jetter & Scheerer, Tuttlingen (Württ.).
2) A. Dietrich, Lit.-Verzeichnis 1908, 2.
3) K. Schleip, Lit.-Verzeichnis 1907, 2.

2. Schätzung der Erythrozytenarten durch Vitalfärbung.

Zur weiteren Differenzierung des Nativpräparates kann eine vitale Färbung wesentlich beitragen. Eine ganze Reihe von hauptsächlich basischen Farbstoffen wie Neutralrot, Methylenblau, Methyl-, Gentiana- und Neutralviolett, Toluidin-, Naphtol-, Brillantkresyl- und Nilblau, Pyronin, Thionin, Dahlia, Safranin, Methylgrün, Magentarot und Methylenazur ist dazu angegeben worden. Sehr geeignet ist insbesondere das von P. Ehrlich[1] empfohlene Neutralrot (das Chlorhydrat der Base Dimethyldiamidotoluphenazin, $C_{14}H_{17}N_4Cl$) oder Neutralrot + Methylenblau und ferner Dahlia- und Brillantkresylblau. Ausgebildet wurde die Methode der Vitalfärbung besonders durch A. Pappenheim[2], J. Arnold[3], K. Nakanishi[4] und H. Rosin und E. Bibergeil[5][6].

Man verfährt genau wie bei Herstellung des Nativpräparates (S. 78), nur daß man zu dem Tropfen Blut noch ein Körnchen des betreffenden Farbstoffes zusetzt oder das Blut auf einem Objektträger oder Deckglas auffängt, auf welchem man vorher die Lösung eines Vitalfarbstoffes hat eintrocknen lassen. Nach J. Arnold[7] kann man auch ein Hollundermarkscheibchen mit einigen Körnchen des Farbstoffs beschicken, in die Maschen des Scheibchens das Blut aufnehmen und dann mit einem Deckglas bedecken.

Sehr empfehlenswert ist die Methode von V. Ruzicka[8], mit deren Hilfe man zugleich entscheiden kann, ob man es mit lebenden oder toten Zellen bzw. Zellderivaten zu tun hat. Man mische 0,05 $^0/_0$-ige Lösungen von Neutralrot (Molekulargewicht 252,3) und Methylenblau (mediz. Höchst, Molekulargewicht 284,4) in destilliertem Wasser zu gleichen Teilen. Von dem Gemische, welches dauerhaft ist, tropfe man auf gut gereinigte Objektträger und lasse die Tropfen bei 35^0 C im Thermostaten verdampfen. Auf die Farbstoffschicht lege man das mit dem Deckglas abgehobene Blutströpfchen auf. Alles was lebt, färbt sich dabei rot, alles, was tot ist, blau.

Will man nach der vitalen Färbung fixieren, so bringt man nach Rosin und Bibergeil[9] die Präparate in Dämpfe von Osmiumsäure und bettet dann in Kanadabalsam ein.

Durch Vitalfärbung werden besonders Bestandteile des Protoplasmas hervorgehoben, Kernfärbung tritt wahrscheinlich durch Prämortalfärbung erst später ein.

1) P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 84.
2) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1905, 1, S. 2 und 1911, 9.
3) J. Arnold, Lit.-Verzeichnis 1899, 8.
4) K. Nakanishi, 1900, 9.
5) H. Rosin und E. Bibergeil, Lit.-Verzeichnis 1904, 8.
6) Über Theorie und Praxis der Vitalfärbung siehe H. J. Hamburger, Lit.-Verzeichnis 1904, 17, Bd. 3, S. 424, M. Heidenhain, Lit.-Verzeichnis 1907, 10, S. 434. Fischel bei P. Ehrlich usw., Lit.-Verzeichnis 1910, 5, S. 589. Die hauptsächliche Literatur findet man am letztgenannten Orte S. 601, bei H. Rosin und E. Bibergeil, Lit.-Verzeichnis 1904, 8, S. 219 und bei O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1, S. 40 angeführt.
7) J. Arnold, Lit.-Verzeichnis 1896, 3, S. 706.
8) V. Ruzicka, Lit.-Verzeichnis 1905, 7, S. 509.
9) H. Rosin und E. Bibergeil, Lit.-Verzeichnis 1904, 8, S. 202.

3. Zählung der Erythrozytenarten in der Zählkammer.

Benutzt man zur Verdünnung des Blutes eine der Seite 75 erwähnten Farbstofflösungen und beschickt man mit der Blutmischung eine der beschriebenen und noch zu beschreibenden Zählkammern mit möglichst großem Zählnetz (S. 108), so lassen sich bis zu einem gewissen Grade Differentialzählungen vornehmen.

Man zählt zunächst alle roten Blutkörperchen ohne Rücksicht auf die Art, wie es im Abschnitt A (S. 6 u. f.) dargelegt wurde, worauf man die Zählung mit Beschränkung auf die betreffende Art wiederholt. Es läßt sich dann leicht die absolute Zahl und das prozentische Verhältnis der normalen und abnormen Körperchen berechnen. Ist die zu ermittelnde Erythrozytenart gegenüber den Normozyten nur in geringer Zahl vertreten, so wird man die zweite Zählung auf größere Zählräume unter genauer Berücksichtigung der Größe dieser Räume ausdehnen und dann eine Reduktion auf die Einheit des Zählraumes vornehmen.

Auch in dem später (S. 125) zu beschreibenden, mit Gentianaviolett- und Eisessiglösung hergestellten Leukozytenzählpräparate von W. Türk[1]) kann man Normoblasten und polychromatische Erythrozyten von Normozyten und Leukozyten unterscheiden und damit ihre absolute Zahl ermitteln. Um einer Verwechslung der Normoblasten mit Lymphozyten vorzubeugen, ist zu beachten, daß der Normoblastenkern im allgemeinen wesentlich kleiner und mit außerordentlicher Schärfe abgegrenzt, auch leuchtender gefärbt ist als der Lymphozytenkern. Trotz Abgabe des Hämoglobins ist bei hohen Graden von Polychromatophilie die basische Färbung des Diskoplasmas sehr deutlich, der Erythrozyt erscheint als eine diffus oder mehr netzförmig blaßbläulich gefärbte kernlose Scheibe.

Auch hier muß die Blutpipette und Zählkammer der Größe der Erythrozyten und eventuell der Größe abnormer Leukozyten angepaßt sein (S. 76), damit nicht die Gleichmäßigkeit der Verteilung in der Blutmischung notleidet.

4. Zählung der Erythrozytenarten im gefärbten Trockenpräparat.

Eine genaue Differentialzählung ist nur im möglichst panoptisch gefärbten Bluttrockenpräparate durchzuführen. Zur Herstellung des Präparates muß das Blut in möglichst dünner Schichte gleichmäßig ausgebreitet werden, worauf es fixiert und dann gefärbt wird; bei manchen Methoden geht Fixierung und Färbung in einem Akte vor sich. Bahnbrechend auf diesem Gebiete ist insbesondere P. Ehrlich vorgegangen.

a. Das Ausbreiten des Blutes.

Hier sind im wesentlichen zwei Methoden im Gebrauch, das Ausbreiten des Blutes zwischen Deckgläschen und das Ausstreichen auf einem Objektträger.

Zur Ausübung der Ehrlichschen[2]) Deckglasmethode, die der

1) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1902, 2, S. 749 und 1904, 1, S. 279.

2) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6, S. 46, P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 20, A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1903, 8, S. 295 und A. Lazarus und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1909, 1, S. 24.

Kochschen Methode zur Untersuchung der Bakterien nachgebildet ist, sind Deckgläschen von besonderer Beschaffenheit erforderlich.

Die Deckgläschen dürfen nicht dicker als 0,08 bis 0,10 mm sein, ihr Glas darf nicht spröde sein noch Schlieren haben und muß in dieser Dicke sich leicht ganz erheblich biegen lassen, ohne zu brechen. Jede Unebenheit eines Gläschens macht dasselbe unbrauchbar. Daher müssen die Gläschen auch einer besonders sorgfältigen Reinigung und absoluten Entfettung unterzogen werden (S. 78). Wenn man sich erinnert, daß diese Deckgläschen nicht aus einer planen Fläche, sondern aus einem Kugelmantel herausgeschnitten werden, so sieht man ein, daß nur bei so vorbereiteten Gläsern erwartet werden kann, daß zwei von ihnen zwischen sich einen kapillaren Raum bilden, in dem sich das Blut leicht spontan ausbreitet; denn bei der geringsten Unebenheit oder Sprödigkeit des Glases ist es eine Unmöglichkeit, daß das eine jeder Biegung des anderen folgt. Auch nur unter dieser Voraussetzung lassen sich die Gläschen leicht ohne Anwendung von zerstörender Gewalt voneinander abziehen.

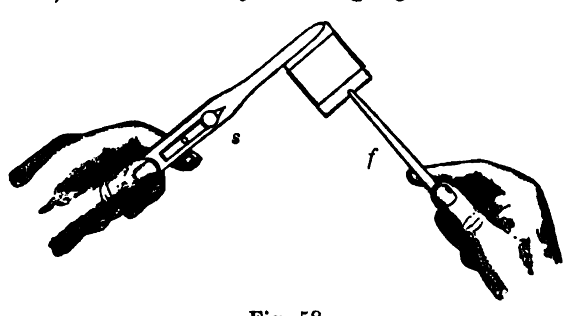


Fig. 58.
Herstellung von Blutausstrichpräparaten mit Deckgläsern nach P. Ehrlich.

Um die Gläschen nicht von neuem zu verunreinigen, vor allem aber um die Berührung des Blutes mit der vom Finger ausgehenden Feuchtigkeit zu vermeiden, werden die Deckgläschen zur Blutaufnahme mit Pinzetten (Fig. 58) gefaßt. Für das untere Deckglas wird eine Schieberpinzette s mit ganz glatten breiten Branchen empfohlen, deren Enden noch für ca. 3 cm innen mit Leder oder englischem Löschpapier beklebt werden können, für das obere eine leicht federnde Pinzette f mit glatten, vorne fast messerscharfen Branchen, mit denen man ein Deckglas selbst von einer ganz glatten Unterlage leicht aufheben kann.

Zum Ausbreiten des Blutes wird das untere Deckglas mit dem einen Rande in die Schieberpinzette geklemmt und in der linken Hand bereit gehalten. Die rechte Hand bringt die Pinzette f mit dem oberen Gläschen an das aus der Stichwunde hervorquellende zweite Tröpfchen [1]) und hebt dieses ab, ohne dabei den Finger selbst zu streifen. Jetzt führt man schnell die Pinzette f an s und läßt das Gläschen mit dem Blutströpfchen leicht auf das andere fallen, worauf sich bei Gläschen von erforderlicher Beschaffenheit das Tröpfchen ganz von selbst ohne jeden Druck in völlig gleichmäßiger kapillarer Schichte ausbreitet. Nun faßt man mit zwei Fingern der rechten Hand oder noch besser mit der Pinzette f das obere Gläschen an der freien Kante und zieht es vom unteren, das in den Schieber gespannt bleibt, rasch ab, ohne dabei zu drücken oder zu heben (Fig. 58). Nach einiger Übung müssen beide Gläschen einen ziemlich gleichmäßigen Belag zeigen.

1) Der erste Tropfen wird abgewischt, siehe S. 6.

Während des jetzt erfolgenden Trocknens an der Luft, das in 10—30 Sekunden beendet ist, müssen die Präparate vor jeder Feuchtigkeit, auch vor dem Atem, geschützt werden.

In wie großer Fläche man die Deckgläser zur Deckung bringt, hängt von der Größe des aufgefangenen Tropfens ab; je kleiner derselbe ist, auf eine desto kleinere Fläche wird man ihn zu verteilen haben. Ganz unbrauchbar sind zu große Tropfen, bei denen das eine Deckglas weniger an dem andern zu kleben als auf ihm zu schwimmen scheint.

Die gelungenen Präparate werden, nachdem sie vollkommen lufttrocken sind, zwischen Filtrierpapierlagen in gut geschlossenen Gefäßen (eventuell Exsikkatoren) bis zur Weiterbehandlung aufbewahrt. Bei wichtigen Fällen, deren Präparate man auf längere Zeit zu erhalten wünscht, dürfte es sich empfehlen, einen Teil der Präparate durch Überziehen mit einer Paraffinschicht vor dem Zutritt atmosphärischer Schädlichkeiten zu schützen. Vor der Weiterbehandlung muß dann die Paraffindecke durch Toluol aufgelöst werden. Selbstverständlich müssen die Präparate im Dunkeln gehalten werden.

O. Naegeli[1]) verfährt etwas anders; er benutzt an Stelle der Pinzetten die Finger, da sich mit diesen das Ausstreichen behutsamer und unter Vermeidung von Druck vornehmen lasse.

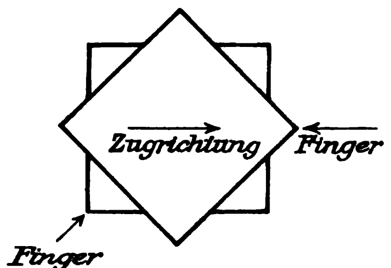


Fig. 59.
Herstellung von Blutausstrichpräparaten mit Deckgläsern nach O. Naegeli.

Man erfaßt ein gereinigtes Deckgläschen an einer Ecke, und zwar möglichst weit außen mit den Fingern (Fig. 59 oberes Gläschen), berührt den hervortretenden kugeligen Blutstropfen mit der Mitte der Unterseite des Deckgläschens und entfernt es sofort wieder. Manchmal beschlägt sich nun die Umgebung des Bluttropfens mit einem feinen Hauch, man muß dann einige Sekunden warten, bis diese Feuchtigkeit wieder verdunstet ist, was außerordentlich rasch der Fall ist. Erst jetzt bringt man den Bluttropfen, der an der Unterseite des Deckgläschens haftet, auf die obere Seite eines anderen Deckgläschens, das in gleicher Weise mit den Fingern an einer Ecke möglichst weit außen gehalten wird (Fig. 59 unteres Gläschen), und legt nun die beiden Deckgläschen überecks so aufeinander, wie Figur 59 zeigt. Man läßt das Blut von selbst durch Kapillarität zwischen den beiden Deckgläschen sich ausbreiten und zieht, sowie dies eingetreten ist, die Gläschen mit einem einzigen Male möglichst sanft und ohne Druck auseinander, worauf man an der Luft trocken werden läßt. Bis zum Fixieren und Färben bringt man die Präparate in eine Papiertüte, auf der man die nötigen Versuchsdaten notiert.

Die Ausdünstung der eigenen Fingerspitzen hat nach Naegeli keinerlei Bedeutung für die Gewinnung eines guten Präparates; dies könnte nur der Fall sein, wenn der Untersuchende stark erhitzt wäre. Wohl aber muß die Ausdünstung der Patientenfinger bei Fieberzuständen berücksichtigt

1) H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 74.

werden; der feine Beschlag verliert sich aber bei kurzem Zuwarten. Dringend wird empfohlen, eine größere Anzahl Deckglaspräparate anzufertigen und die besten auszuwählen, immer muß aber der Rest des vorhergehenden Tropfens weggewischt und das Blut einem frisch hervorquellenden Tropfen entnommen werden. Von Einfluß auf die Güte des Präparates ist die Beschaffenheit des Blutes. Leukozytenarmes Blut läßt sich gewöhnlich nur schlecht ausbreiten, leukämisches Blut ist sehr stark klebrig, wobei dann sehr leicht Quetschungen erfolgen trotz aller Vorsicht. Stark anämisches Blut zerfließt in der Kapillarschicht gewöhnlich wie Wasser, trotzdem kann die Herstellung guter Präparate Schwierigkeiten bereiten.

Verfasser benutzt neben den gewöhnlich gebrauchten quadratischen Deckgläsern von 18 mm Seite auch rechteckige von 20×25 mm Größe; man braucht diese nicht überecks aufeinander zu legen und kann sie bei ihrer Größe doch an einer kleinen Kante mit den Fingern anfassen.

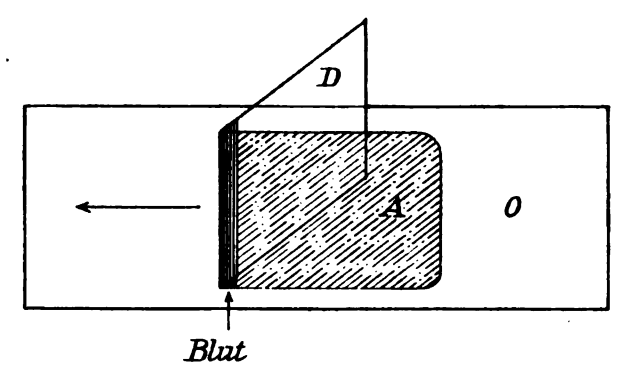


Fig. 60.
Herstellung eines Blutausstrichpräparates auf einem Objektträger mit einem Deckglas.

Bei vergleichenden Untersuchungen kann man, dem Vorschlage O. Israels[1]) folgend, die eine Blutart auf der einen, die andere auf der anderen Hälfte des Deckglases ausbreiten.

A. Lazarus und O. Naegeli[2]) erwähnen, daß Jancso und Rosenberger als erste die Ausbreitung des Blutes auf dem Objektträger vornahmen, indem sie mit der Kante eines Deckgläschens den Bluttropfen abnahmen und dann die ganze Kante unter leisester Berührung der Fläche des Objektträgers entlangstrichen.

Neuerdings werden die Objektträgerpräparate in folgender Weise hergestellt. Ein nach früheren Angaben (S. 78) sorgfältig gereinigter Objektträger O (Fig. 60) wird horizontal auf eine weiße Unterlage gelegt. Darauf wird die glattgeschliffene Kante eines nicht zu dünnen Deckglases (am besten sind die geschliffenen Deckgläser, welche bei den Zählkammern Verwendung finden) mit den Bluttropfen in Berührung gebracht und ein recht kleines Tröpfchen abgehoben. Jetzt wird das Deckglas D auf den

1) Siehe bei H. Hirschfeld, Lit.-Verzeichnis 1897, 6, S. 18.
2) A. Lazarus und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1909, 1, S. 26.

Objektträger so aufgesetzt, daß sich das Blut in dem spitzwinkeligen Raume entlang der Deckglaskante ausbreitet, worauf das Deckglas unter Einhaltung des spitzen Winkels in der Richtung des Pfeiles leicht über den Objektträger fortbewegt und so ein dünner Ausstrich A von Blut erzielt wird. Quetschungen der körperlichen Elemente des Blutes sollen dadurch möglichst vermieden werden.

Vielfach wird auch statt eines Deckglases eine Visitenkarte oder ein Objektträger zum Ausstreichen benutzt und der andere Objektträger nicht auf eine Unterlage aufgelegt, sondern frei in der anderen Hand gehalten.

Das Ausbreiten des Blutes zwischen Deckgläschen und das Ausstreichen auf dem Objektträger hat Vorteile und Nachteile. Bei der Deckglasmethode ist von entschiedenem Vorteil, daß das Blut ganz auf die beiden Deckgläser verteilt wird, und daß man daher beim Auszählen gute Durchschnittswerte erhält, wenn auf beiden Gläsern gezählt wird, worauf auch schon W. Türk[1]) hingewiesen hat. Zudem wird die Blutschichte beim Einbetten in Kanadabalsam durch das Deckglas selbst zugedeckt. Gewisse Vorteile bietet die Deckglasmethode auch bei der späteren Färbung des Präparates. Ein Nachteil ist, daß Quetschungen leichter vorkommen und daß die Handhabung der zerbrechlichen Deckgläser keine ganz leichte ist.

Von Vorteil bei der Objektträgermethode ist, daß sich mit ihr ein größerer Ausstrich leichter erzielen läßt, und daß das Glas weniger zerbrechlich ist. Ein wesentlicher Nachteil ist, daß beim Ausstreichen des Blutes die klebrigsten Elemente zunächst hängen bleiben und so mit der Länge des Ausstrichs immer mehr eine Verdünnung in bezug auf diese Elemente eintritt. Daß ferner ein Teil des Bluttropfens nicht in den Ausstrich eingeht, sondern an dem ausstreichenden Deckglas oder Objektträger zurückbleibt und so der Auszählung entgeht, ist ein weiterer Nachteil.

Eine Visitenkarte zum Ausstreichen zu benutzen, empfiehlt sich nicht, da diese das Plasma ansaugen und so nach dem Ausstreichen der Eindruck einer Polyzythämie erweckt werden kann.

Der Herstellung des Trockenpräparates hat sich möglichst bald die Fixation desselben anzuschließen.

b. Die Fixation des ausgebreiteten Blutes.

Der Färbung geht in den allermeisten Fällen eine besondere Fixation der körperlichen Elemente des Blutes voraus[2]). Die Art der Fixation richtet sich nach dem Färbeverfahren, das man einschlagen will, auch die Dauer der Fixation ist davon abhängig. Je chemisch differenter die später auf das Präparat einwirkenden Stoffe sind, um so länger und intensiver muß fixiert werden.

Zwei Arten von Fixation sind wesentlich im Gebrauch, die Fixation mit trockener Hitze nach P. Ehrlich und die Fixation mit chemischen Stoffen.

---

1) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1898, 9, S. 18.

2) Zur Theorie der Fixation siehe v. Tellyesniczky bei P. Ehrlich usw., Lit.-Verzeichnis 1910. 5, S. 460 und H. J. Hamburger, Lit.-Verzeichnis 1904, 17, Bd. 3, S. 397.

Am einfachsten kann man die Fixation mit trockener Hitze[1]) dadurch vornehmen, daß man das Deckglas mit dem Blutausstrich mehrere Male durch die Flamme eines Spiritus- oder Bunsenbrenners hindurchzieht. Da sich auf diese Weise aber der Grad der Fixation schwer ermessen läßt, so nimmt man die Fixation besser auf einer erhitzten Kupferplatte, auf dem Kupferdeckel eines Kupferkessels, in welchem eine bestimmte Flüssigkeit siedet, oder in einem Trockenschranke vor.

Die Kupferplatte (Fig. 61)[2]) wird mit Hilfe eines Statives horizontal gestellt und an dem einen Ende mit einer Bunsenflamme erhitzt. Nach längerer Einwirkung der Flamme ist eine gewisse Konstanz in der Temperaturverteilung erreicht, die Platte ist in der Nähe der Flamme am heißesten, am andern Ende weniger heiß. Durch Auftropfen von Wasser, Toluol, Xylol oder ähnlichen Flüssigkeiten und durch Beobachtung ihres Siedepunktes kann man ungefähr die Temperatur der Platte an der Stelle des Siedens ermitteln. Toluol siedet bei 110, Xylol bei 139° C. Die Stelle der Platte, wo, vom kälteren Ende an untersucht, der Wassertropfen nicht rasch verdunstet, sondern sphärisch bleibt und herumrollt (Leidenfrostsches Phänomen) weist eine Temperatur von ca. 140° C auf. Kowarski hat der Kupferplatte die in Figur 62 dargestellte Form gegeben. In eine der Vertiefungen werden Harnstoffkristalle gebracht, worauf die Platte erhitzt wird. Die Fixierung ist genügend, sobald die Kristalle zu schmelzen beginnen (132° C). H. Sahli[3]) rügt an der Kupferplatte, daß ihre Temperatur zu sehr schwankt, und daß ihre Oberfläche durch Oxydation uneben wird: die ganze Methode ist aber, ihrer Einfachheit halber, in vielen Fällen doch recht brauchbar.

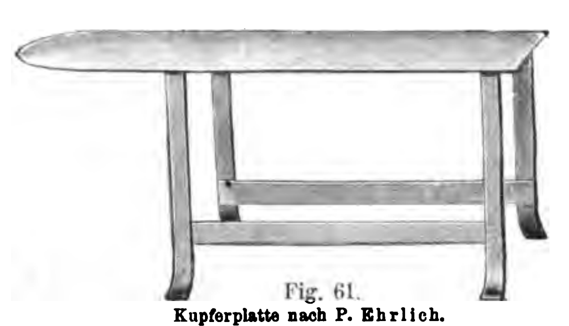


Fig. 61.
Kupferplatte nach P. Ehrlich.



Fig. 62.
Fixator nach Kowarski.

In den Kupferkessel (Fig. 63)[4]) füllt man eine der genannten Flüssigkeiten, bringt sie zum Sieden und kann dann annehmen, daß auch die Temperatur des Kupferdeckels nicht weit von der Siedetemperatur entfernt ist.

Noch besser eignet sich ein mit Thermometer und Thermoregulator versehener Trockenschrank.

---

1) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6, S. 46 und 78, P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 22 und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1903, 8, S. 296.

2) Kupferplatte, Fixator und Kupferkessel können von der Firma Dr. R. Muencke, Berlin NW 6, Luisenstraße 58, bezogen werden.

3) H. Sahli, Lit.-Verzeichnis 1909, 6, S. 877.

4) P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 22.

Für die gewöhnlichen Färbemittel (wäßrige Lösungen) setzen Ehrlich und Lazarus die lufttrockenen Deckglaspräparate auf eine halbe bis zwei Minuten einer Temperatur von 110° C aus, für differente Farbengemische ist jedoch eine Einwirkung von zwei Stunden oder höherer Temperaturen notwendig. Naegeli[1]) empfiehlt Fixation während 10 Sekunden bei 140° C. Türk[2]) hat für rasches Arbeiten mit der „wilden Fixation“, wie er sie nennt, recht gute Resultate erzielt. Türk bringt auf den durchlochten Boden eines Trockenschrankes ein flaches Uhrschälchen aus möglichst dünnem Glase und stellt das Quecksilbergefäß des Thermometers auf das Schälchen auf. Während der Apparat noch kalt ist, legt Türk das Deckglas, mit der Blutschicht nach abwärts, in das Uhrschälchen und läßt die eine Kante des Deckglases dem Thermometer anliegen. Dann erhitzt er rasch auf 148—150°, nicht darüber, entfernt, bei dieser Temperatur angelangt, die Flamme, läßt im Schranke auf 130° abkühlen und nimmt dann das Präparat heraus. Neuerdings läßt Türk[3]) die Temperatur von 150° C an noch ganz langsam bis auf 160° oder höchstens 165° ansteigen, dann wird die Flamme weggenommen. Die Abkühlung erfolgt bis 150° langsam, dann aber bei Eile unter Öffnung des Türchens rasch. Verfasser hat den Eindruck gewonnen, daß die Fixation nach Türk doch etwas zu wild ist, und empfiehlt, wie Naegeli, Fixation während 10 Sekunden bei 140°.



Fig. 63.
Kupferkessel mit Toluol nach P. Ehrlich.

Von chemischen Stoffen werden besonders absoluter Äthylalkohol, ein Gemisch von absolutem Äthylalkohol und Äther zu gleichen Teilen, Formol in Äthylalkohol, Osmiumsäure, Joddämpfe, Azeton und absoluter Methylalkohol zur Fixation verwendet. Weitere Fixationsmittel wie Sublimat, Pikrinsäure, Müllersche und Flemmingsche Lösung kommen nur bei besonderen histologischen Untersuchungen in Betracht. Je älter und trockener das Blutpräparat ist, um so kürzer läßt man die chemischen Fixationsmittel einwirken. Kommen später wäßrige Farbstofflösungen zur Anwendung, so muß die Fixation längere Zeit dauern, als wenn mit alkoholischen Lösungen gefärbt wird.

Die Fixation nimmt man in Glasschälchen mit Glasdeckeln vor. Absoluter Äthylalkohol fixiert für manche Färbungen schon in 5 Minuten,

1) H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 81.
2) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 192.
3) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1912, 2, S. 22.

meist läßt man 20—30 Minuten lang einwirken. In Fällen, in welchen Eile nottut, bringt man das Trockenpräparat auf 1 Minute in siedenden absoluten Äthylalkohol. In dem Gemisch von Äthylalkohol und Äther dauert die Fixation 10—30 Minuten, unter Umständen auch 2 Stunden. Von Formol benutzt man nach Benario[1]) 1%-ige Lösungen in 90—100%-igem Äthylalkohol. Mit 1%-igen Formol-Lösungen, denen 5—10% Glyzerin zugesetzt ist, hat Schüffner[1]) sehr schöne Resultate erzielt. Auch in den Dämpfen des unverdünnten Formols wird fixiert. Das empfohlene Azeton hat sich nicht besonders bewährt. Das zurzeit beste Fixationsmittel ist der absolute Methylalkohol, den man bei älteren Präparaten 2—3 Minuten, bei frischen 3—5 Minuten einwirken läßt.

Von den andern Fixationsmitteln sei nur noch der Osmiumsäure gedacht, da sie neuerdings von F. Weidenreich[2]) für Bluttrockenpräparate besonders empfohlen wurde. Das Verfahren ist das sogenannte Räucherverfahren. Man bringt nach diesem Autor in eine nicht zu große Glasdose ca. 5 ccm einer 1%-igen Osmiumsäurelösung (Osmiumtetroxyd) und gibt dazu 10 Tropfen Eisessig. Gereinigte Objektträger werden dann auf die Glasdose gelegt und den Dämpfen mindestens 2 Minuten lang ausgesetzt, wobei das Ganze mit einer nicht zu großen Glasschale oder -glocke bedeckt wird. Dann wird das zu untersuchende Blut auf der den Dämpfen ausgesetzten Seite eines der Objektträger ausgestrichen und der Objektträger sofort wieder mit der bestrichenen Seite nach abwärts auf die Glasdose zurückgebracht. Nach etwa 1 Minute ist die Fixation erfolgt. Ist die Blutschichte nach dieser Zeit noch nicht getrocknet, so bewegt man den Objektträger in der Luft einige Male hin und her und zieht ihn nach dem Trockenwerden dreimal durch die Flamme. Nach dem Erkalten übergießt man ihn mit einer sehr schwachen, ganz hellroten Lösung von Kaliumpermanganat, die etwa 1 Minute darauf stehen bleibt. Dann wäscht man mit gewöhnlichem Wasser aus und trocknet mit Filtrierpapier ab. Das Präparat läßt sich jetzt beliebig lange aufheben.

Den Einwand von A. Pappenheim[3]), daß die Fixation mit Osmiumsäure und auch mit Formol in Gasform wenig brauchbar sei, da diese Stoffe Quellung verursachen, sucht Weidenreich zu entkräften. Pappenheim empfiehlt mehr Fixation in Joddämpfen. Verfasser hat mit der Weidenreichschen Methode bei nachfolgender Färbung mit Ehrlichs Triacid gute Resultate erzielt, nicht aber bei Färbungen nach dem Romanowskyschen Prinzip (S. 98).

Sollen fixierte Präparate längere Zeit aufgehoben werden, so geschieht dies am besten in Exsikkatoren.

Der Fixation folgt

c. Die Färbung des ausgebreiteten Blutes[4]).

Die Färbung kann eine singuläre mit nur einem Farbstoffe oder eine panoptische mit mehreren Farbstoffen sein; sie kann im ersteren

1) Siehe A. Lazarus und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1909, 1, S. 27.
2) F. Weidenreich, Lit.-Verzeichnis 1906, 2, S. 2.
3) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1905, 1, S. 4.
4) Zur Theorie der Färbung fixierter Gewebe siehe H. J. Hamburger, Lit.-Verzeichnis 1904, 17, Bd. 3, S. 412 und P. Ehrlich usw., Lit.-Verzeichnis 1910, 5, Bd. 1, S. 412.

Falle monochromatisch im Tone des Farbstoffes oder metachromatisch in anderer Farbnuance erfolgen, im letzteren Falle kann sie sukzessiv oder simultan vorgenommen werden. Die singuläre und sukzessive panoptische Färbung kommen nur für besondere Fälle in Betracht, die allergrößte Bedeutung hat neuerdings die simultane panoptische Färbung erlangt.

P. Ehrlich[1]) hat sich zuerst bemüht, die Färbung dadurch panoptisch zu gestalten, daß er entsprechend den basophilen, oxyphilen und neutrophilen Eigenschaften der Zellbestandteile Farbstoffgemische mit basischen, sauren und neutralen Komponenten herstellte.

Die basischen und sauren Farbstoffe kommen dabei aber nicht als freie Basen oder freie Säuren zur Verwendung, da diese meist wasserunlöslich sind, sondern als Salze, und man versteht daher eigentlich unter einem basischen Farbstoff ein solches Farbsalz, das aus einer Farbbase und aus einer ungefärbten Säure besteht (basochromer Farbstoff), während bei einem sauren Farbstoffe die Säure gefärbt, die Base aber farblos ist (azidochromer Farbstoff). Neutrale Farbstoffe sind dann solche Farbsalze, bei denen sowohl die basische wie die saure Komponente ein Farbstoff ist (amphochromer Farbstoff)[2]).

Von basischen Farbstoffen finden besonders Methylenblau, Methylenazur, Methylgrün, Pyronin, Dahlia, Gentiana- und Methylviolett Verwendung, von sauren Eosin, Orange-G., Pikrinsäure, Säurefuchsin und Hämatoxylin, das durch Alaun basische Eigenschaften erlangt.

Der neutrale Farbstoff wird dadurch erzielt, das wäßrige Lösungen des basischen und sauren Farbstoffes in bestimmten Mengenverhältnissen gemischt werden, worauf der neutrale Farbstoff, als in Wasser unlöslich, ausfällt. Um auch diesen Farbstoff in Lösung zu bringen, wird das Farbstoffgemisch meist mit einem Überschuß des sauren, aber auch des basischen Farbstoffes versetzt, oder es werden zur Lösung physikalische Mittel wie Wärme oder chemische wie Alkohol, Methylal (Methylendimethyläther, CH_2-$(O$-$CH_3)_2$) oder Azeton angewendet. Da sich ferner der neutrale Farbstoff in statu nascendi als besonders wirksam erweist, so wird die Färbung auch in Schwebefällung des Farbstoffs, hergestellt durch Verdünnung seiner Lösung mit Wasser, vorgenommen.

Fast Alleinherrscher auf dem Gebiete der Blutfärbung sind neuerdings die Farbstoffgemische von Eosin und Methylenblau, von eosinsaurem Methylenblau, von Methylenazur und schließlich von eosinsaurem Methylenblau und eosinsaurem Methylenazur[3]). Der saure bzw. azidochrome Farbstoff ist dabei das Eosin, das als eigentliches Farbsalz aus der gefärbten Eosinsäure und der ungefärbten Base, Kalium oder Natrium, besteht und das Alkalisalz des Tetrabromfluoreszeins ($C_{20}H_6$-$O_5Br_4Na_2$ oder K_2) darstellt, während der basische bzw. basochrome Farbstoff, das Methylenblau, als eigentliches Farbsalz aus der gefärbten Methylenblaubase (Tetramethylthionin) und dem farblosen Chlorwasserstoff zusammen-

---

1) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6. S. 46 und P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 23.

2) G. Giemsa, Lit.-Verzeichnis 1911, 10, S. 16.

3) Über die Färbung mit diesen Stoffen siehe auch G. Aßmann, Lit.-Verzeichnis 1908, 7.



gesetzt ist und die Formel $C_{16}H_{18}N_3SCl$ aufweist. Dieses Methylenblau geht bei längerem Stehen oder bei vorsichtigem Erhitzen mit Alkalien in Derivate über, von denen zwei nach den Untersuchungen von Bernthsen besonders wichtig sind, das Methylenazur und das Methylenviolett[1]). Das Methylenazur kann von dem Methylenblau durch Schütteln mit Äther getrennt werden, das Methylenviolett ist sehr schwer löslich. Das Methylenazur trägt insbesondere durch seine stark metachromatische Wirkung viel zur färberischen Differenzierung bei.

Während die genannten Farbstoffe substantiv färben, d. h. sich direkt mit den zu färbenden Bestandteilen verbinden, kommt auch noch eine adjektive Färbung in Betracht, besonders dann, wenn es sich um genauere Ermittlung der Kernstruktur handelt; hier übernimmt eine Beize (Alaun) die Verkettung des Farbstoffes (Hämatoxylin) mit der zu färbenden Substanz.

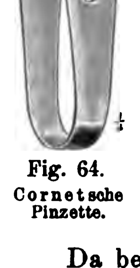
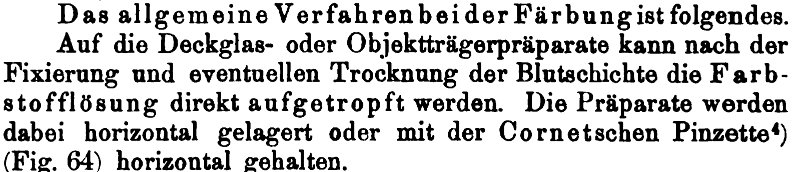


Fig. 64. Cornetsche Pinzette.

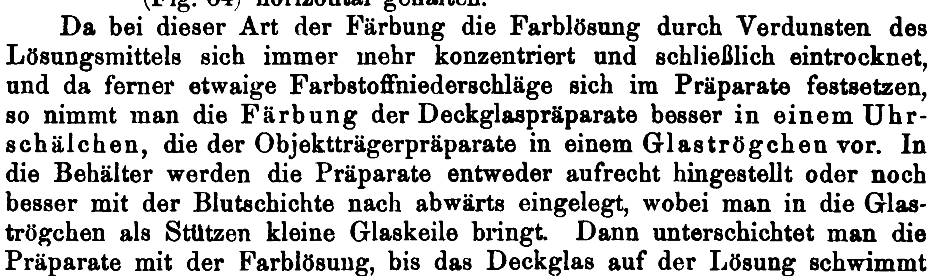
Die Entwicklungsgeschichte all dieser Färbemethoden, an welche sich besonders die Namen Ehrlich, Romanowsky, Jenner, May-Grünwald, Ziemann, Nocht, Reuter, Michaelis, Leishman, Giemsa und Pappenheim knüpfen, schildert W. Türk[2]) anschaulich[3]).

Im folgenden sollen die wichtigsten Färbemethoden, welche zur Differenzierung der verschiedenen Arten von Erythrozythen und der körperlichen Elemente des Blutes überhaupt Verwendung finden, angeführt werden, und zwar zunächst die für singuläre, dann die für sukzessive und simultane panoptische Färbungen.



Das allgemeine Verfahren bei der Färbung ist folgendes.

Auf die Deckglas- oder Objektträgerpräparate kann nach der Fixierung und eventuellen Trocknung der Blutschichte die Farbstofflösung direkt aufgetropft werden. Die Präparate werden dabei horizontal gelagert oder mit der Cornetschen Pinzette[4]) (Fig. 64) horizontal gehalten.



Da bei dieser Art der Färbung die Farblösung durch Verdunsten des Lösungsmittels sich immer mehr konzentriert und schließlich eintrocknet, und da ferner etwaige Farbstoffniederschläge sich im Präparate festsetzen, so nimmt man die Färbung der Deckglaspräparate besser in einem Uhrschälchen, die der Objektträgerpräparate in einem Glaströgchen vor. In die Behälter werden die Präparate entweder aufrecht hingestellt oder noch besser mit der Blutschichte nach abwärts eingelegt, wobei man in die Glaströgchen als Stützen kleine Glaskeile bringt. Dann unterschichtet man die Präparate mit der Farblösung, bis das Deckglas auf der Lösung schwimmt oder der Objektträger in diese eintaucht. Zweckmäßig deckt man mit einem zweiten Uhrschälchen oder mit einem Glasdeckel zu.

1) L. Michaelis, Lit.-Verzeichnis 1901, 13.

2) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 193 und 1912, 2, S. 21.

3) Siehe ferner P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6 und P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 23, Rosin bei P. Ehrlich usw., Lit.-Verzeichnis 1910, 5, Bd. 1, S. 355, Bd. 2, S. 84 und 311.

4) Zu beziehen von der Aktiengesellschaft für Feinmechanik vormals Jetter und Scheerer, Tuttlingen (Württ.).

Nach der Färbung werden die Präparate mit einer Pinzette aus Horn, jedenfalls nicht aus Metall, herausgenommen, mit Wasser abgespült, unter Umständen noch etwas differenziert, zwischen Filtrierpapier und eventuell in der Nähe einer Flamme vollends getrocknet und dann so aufbewahrt oder auch in neutralen säurefreien Kanadabalsam[1]) eingebettet. Zur mikroskopischen Untersuchung der Präparate ist eine Immersionslinse erforderlich; das Immersionsöl bringt man entweder direkt auf die gefärbte Blutschicht oder auf das Deckglas.

Zur singulären Färbung der Erythrozyten kann man den Umstand benutzen, daß ihr wesentlicher Inhalt, das Hämoglobin, oxyphile Eigenschaften hat, sich also mit sauren Farbstoffen färbt; als solcher hat sich am meisten das Eosin bewährt.

Singuläre Färbung mit Eosin.

Man bereitet sich eine 0,5 %-ige Lösung von Eosin rein (französisch) in Wasser oder noch besser in 70 %-igem Alkohol.

Die durch Hitze oder chemische Stoffe fixierten Präparate werden bis zu 5 Minuten gefärbt, mit Wasser gründlich abgespült, solange noch Farbe abgeht, abgetrocknet und unter Umständen in Kanadabalsam eingebettet.

Bei sachgemäßer Färbung hängt die Intensität der Rotfärbung von dem Hämoglobingehalte ab. Je größer dieser Gehalt ist, um so mehr verschwindet auch die zentrale Delle der Erythrozyten, und umgekehrt. Mikro-, Makro-, Megalo- und Poikilozyten lassen sich leicht als solche erkennen.

Soll auf Polychromatophilie, auf basophile Punktierung, auf andere basophile Substanzen und auf Gegenwart eines Kernes untersucht werden, so wendet man

Singuläre Färbung mit Methylenblau

an. Von Methylenblau medicinale purissimum Höchst, Methylenblau rectificatum Ehrlich oder Methylenblau B. pat. Grübler löst man 0,25—1 g in je 100 ccm destilliertem Wasser oder 50—60 %-igem Alkohol. Auch Löfflers alkalisches Methylenblau[2]), bestehend aus 30 ccm einer konzentrierten alkoholischen Methylenblaulösung und 100 ccm 0,01 %-iger Kalilauge, kann verwendet werden.

Nach Fixation durch Hitze oder chemische Mittel wird je nach der Wirksamkeit der Lösung 5 Sekunden bis 1 Minute gefärbt, mit Wasser abgespült, bis das Präparat schwach grünlichblau oder rein blau gefärbt erscheint, worauf getrocknet und eventuell eingebettet wird.

Die Polychromatophilie äußert sich durch mehr oder weniger Blaufärbung der Erythrozyten, basophile Körnchen und Zellkerne oder Kernreste treten intensiv blaugefärbt hervor.

1) Der neutrale Kanadabalsam, die später zu beschreibenden Farbstoffe, deren Lösungen und alle sonstigen zur Blutdifferenzierung erforderlichen Chemikalien werden am besten von Dr. Grüblers Laboratorium (Inhaber Dr. K. Hollborn), Leipzig, Kronprinzstraße 71, bezogen. Da der neutrale Kanadabalsam bei Luftzutritt wieder sauer wird, so muß er in festverschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden. Auch vor direktem Sonnenlicht ist er zu schützen.

2) C. v. Kahlden, Lit.-Verzeichnis, 1895, 3, S. 59.

Wird besonderer Wert auf die Erkennung der Kernsubstanz und auf die Untersuchung der Struktur des Kernes gelegt, auf die Polychromatophilie aber nicht, so kommt vor allem Hämatoxylin-Eosinfärbung in Betracht; hat sich doch Hämatoxylin immer noch als das beste Kernfärbemittel erwiesen.

Färbung mit Hämatoxylin-Eosin.

Der Simultanfärbung ist die Sukzessivfärbung vorzuziehen. Man kann die Ehrlichsche oder Delafieldsche Hämatoxylinlösung benutzen.

Ehrlichs Lösung[1]) enthält:

Wasser	100 ccm
Alkohol absolutus	100 „
Glyzerin	100 „
Eisessig	10 „
Hämatoxylin	2 g
Alaun im Überschuß.	

Das Gemisch reift am Lichte längere Zeit, bis es eine gesättigt rote Farbe angenommen hat. Sobald dies erreicht ist, bleibt das Färbungsvermögen ein konstantes (durch Jahre); nie treten Niederschläge auf, wenn für genügenden Verschluß des Gefäßes gesorgt ist.

Delafields Lösung[2]): Zu 400 ccm gesättigter wäßriger Lösung von Ammoniakalaun (etwa 36 g erforderlich) werden 4 g kristallisiertes Hämatoxylin, gelöst in 25 ccm starkem Alkohol, hinzugefügt. Diese zunächst leicht violett oder auch schmutzig rot gefärbte Lösung wird in offener Flasche dem Licht ausgesetzt, wobei die Farbe dunkler wird und ein leichter Niederschlag entsteht. Nach 3—4 Tagen wird die Lösung filtriert, worauf 100 ccm Glyzerin und ebensoviel Methylalkohol hinzugegossen wird. Dann läßt man die Lösung wieder offen stehen (wenigstens 2 Monate), bis sie dunkel genug geworden ist, filtriert und hebt sie in verschlossener Flasche auf[3]).

Das 3—5 Minuten in Methylalkohol fixierte Präparat wird abgespült und auf 10—15 Minuten, unter Umständen auch länger, in die Ehrlichsche Hämatoxylinlösung eingelegt. Dann wird in Wasser abgespült, gut getrocknet, auf 1—3 Minuten in $^1/_2$ %-iger alkoholischer Eosinlösung (S. 91) gefärbt, abgespült, getrocknet und eingebettet.

Zur Färbung mit Delafields Hämatoxylinlösung wird wie oben fixiert, worauf das Präparat, ohne abgespült zu werden, auf 3—5 Minuten in die $^1/_2$ %-ige alkoholische Eosinlösung kommt. Dann wird abgespült, unter leichtem Erwärmen getrocknet und darauf das Präparat auf 3—5 Minuten in die sehr sorgfältig filtrierte Hämatoxylinlösung gebracht. Abspülen, trocknen, einbetten![4]) Die Delafieldsche Lösung leistet in kürzerer Zeit mehr als die Ehrlichsche.

Nach O. Naegeli[5]) ist bei frischen Lösungen das Filtrieren nicht nötig,

1) Behrens' Zeitschr. für wissenschaftl. Mikroskopie, Bd. 3, S. 150. 1886.
2) Behrens' Zeitschr. für wissenschaftl. Mikroskopie, Bd, 2, S. 288. 1885.
3) Bezugsquelle für beide Lösungen siehe S. 91, Anm. 1.
4) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 226.
5) H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 89.

wenn die Hämatoxylinlösung unter das Präparat geschichtet wird; Verfasser möchte aber doch, jedenfalls bei der Delafieldschen Lösung, auch in diesem Falle die Filtration empfehlen.

Kommt es neben dem Kern auch noch auf andere Bestandteile der Erythrozyten oder Erythroblasten an, so färbt man sie simultan oder sukzessiv mit Eosin und Methylenblau.

Simultane Färbung mit Eosin und Methylenblau nach Chenzinsky (1898)[1].

Von simultan färbenden Eosin-Methylenblaumischungen wurde früher die Chenzinskysche Lösung, bestehend aus

konz. wäßr. Methylenblaulösung	40 ccm
$^1/_2$ %-iger Eosinlösung in 70 %-igem Alkohol	20 „
Dest. Wasser	40 „ ,

viel benutzt.

Die Lösung ist ziemlich haltbar, muß aber vor dem Gebrauch stets filtriert werden. Sie verlangt nur eine Fixation des Blutpräparates in Alkohol für 5 Minuten. Gefärbt wird in luftdicht verschlossenen Blockschälchen bei Brutwärme 6—24 Stunden lang.

Die Kerne werden intensiv blau, sonstige basophile Substanzen gleichfalls blau, der übrige Inhalt der Erythrozyten rot gefärbt. Die lange Dauer der Färbung, welche auch auf die Erythrozyten nicht ohne Einfluß bleibt, ist einer ausgiebigen Verwendung der Methode hinderlich.

Von sukzessiven Eosin-Methylenblaufärbungen ist ganz besonders die v. Müllernsche zu empfehlen. Durch Vor- und Nachfärbung mit Eosin wird der Aggressivität des Methylenblaus, welches das locker gebundene Eosin leicht verdrängt, entgegengearbeitet.

Sukzessive Färbung mit Eosin und Methylenblau nach K. v. Müllern (1904).[2]

Die Eosinlösung ist die Seite 91 erwähnte $^1/_2$ %-ige, mit 70 %-igem Alkohol hergestellte Lösung, die Methylenblaulösung 0,25 %-ig (B. pat. Grübler in Wasser gelöst, S. 91). Beide Lösungen kommen in Tropfgläschen, welche möglichst gleichgroße Tropfen geben.

Das zu färbende Präparat wird in Methylalkohol 3 Minuten lang fixiert. Dann erfolgt Vorfärbung in der Eosinlösung 3 bis höchstens 5 Minuten lang, worauf in destilliertem Wasser abgespült und zwischen Filtrierpapier getrocknet wird. Jetzt werden zu 20 Tropfen Methylenblaulösung 10 Tropfen Eosinlösung zugefügt, gut gemischt und in die Mischung, in der ein Niederschlag entsteht, das Präparat auf $^1/_2$ bis höchstens 1 Minute eingelegt, worauf rasch in destilliertem Wasser abgespült und rasch zwischen Filtrierpapier oder über der Flamme getrocknet wird. Einbettung in Kanadabalsam.

Die Eosinlösungen dürfen nicht gar zu alt sein, dagegen färben ältere Methylenblaulösungen im allgemeinen besser. Die Präparate sollen mög-

1) Siehe bei P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 29.
2) Siehe W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 207.

lichst 1—2 Tage alt sein. Färben sich die Kerne einmal schlecht, so muß länger in Methylalkohol fixiert werden.

Durch diese Kontrastfärbung werden die histologischen Details besser hervorgehoben als durch die singulären Färbungen.

Von den simultanen panoptischen Färbungen sei zuerst die Färbung mit Ehrlichs Triazidlösung erwähnt, in welcher die drei basischen Gruppen des Methylgrüns (Lichtgrün) mit zwei sauren Farbstoffen, Orange G und Säurefuchsin, verbunden sind. Methylgrün, ein Triphenylmethanfarbstoff, kommt als Chlorzinkdoppelsalz von der Formel $C_{26}H_{33}N_3Cl_2 + ZnCl_2$ in den Handel und ist ein sehr guter Kernfarbstoff. Orange G, ein Azofarbstoff $C_{16}H_{10}O_7N_2S_2Na_2$, und Säurefuchsin, Gemische der Natrium- und Ammoniumsalze der Rosanilin- und Pararosanilintrisulfosäure $C_{19}H_{12}O_9N_6S_3Na_3$, sind Protoplasmafarbstoffe. Der beim Mischen entstehende neutrale Farbstoff ist im Überschuß des sauren (Säurefuchsin) gelöst.

Färbung mit Ehrlichs Triazidlösung (1898).[1]

Zur Herstellung des Gemisches benutzt man gesättigte wäßrige Lösungen der chemisch reinen Farbstoffe[2], die Lösungen werden durch längeres Stehenlassen geklärt. Man mischt dann

13—14	ccm	Orange-G-lösung
6— 7	„	Säurefuchsinlösung
15	„	destill. Wasser
15	„	absoluten Alkohol
12,5	„	Methylgrünlösung
10	„	absoluten Alkohol
10	„	Glyzerin

in der angegebenen Reihenfolge mit ein und demselben Maßgefäße ab und schüttelt vom Zusatz der Methylgrünlösung an das Gemisch gründlich durch. Die Lösung ist sofort brauchbar und hält sich für lange Zeit gut, sie darf aber direkt vor dem Gebrauch nicht umgeschüttelt werden. Nach der Entnahme mit einem Tropfröhrchen wird sofort wieder verschlossen[3]).

Die sorgfältig durch Hitze fixierten Präparate (chemische Fixation empfiehlt sich nicht) — W. Türk hat besonders mit der „wilden Fixation“ gute Resultate erzielt (S. 87) — werden 5 Minuten gefärbt. Dann wird mit Wasser abgespült, zwischen Filtrierpapier getrocknet und in neutralem Kanadabalsam eingebettet (S. 91, Anm. 1). Zur Vermeidung von Farbstoffniederschlägen, welche besonders dem Zellkern aufsitzen, bringt man das Präparat zweckmäßig mit der Blutschichte nach abwärts in die Triazidlösung (S. 90).

Die roten Blutkörperchen werden orange gefärbt, eventuelle Kerne grünlich, doch ist die Kernfärbung mangelhaft. Polychromatophilie ist an

---

1) P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 28.

2) Auf M. Heidenhains Veranlassung werden die drei Farbstoffe von der Aktiengesellschaft für Anilinfarbstoffe in Berlin kristallisiert hergestellt.

3) Da die Herstellung der Lösung mit Schwierigkeiten verknüpft ist, bezieht man sie besser fertig von Dr. Grüblers Laboratorium, Adresse S. 91, Anm. 1.

der rotvioletten Färbung kenntlich, basophile Punktierung wird nicht hervorgehoben.

Um die Kernfärbung besser zu gestalten, wird von O. Naegeli[1]) Nachfärbung mit $^1/_4$ $^0/_0$-iger Methylenblaulösung empfohlen. Durch diese Nachfärbung, die aber nur ganz kurz dauern soll, wird in der Tat das histologische Bild wesentlich verbessert.

Ein Triazid, welches als Base das färbende Prinzip des polychromen Methylenblau Unnas enthält, hat A. Pappenheim[2]) angegeben[3]); es färbt die Kerne besser und hebt auch die Mastzellengranula hervor, steht aber der Naegelischen Modifikation im Effekt nach.

Zur Hervorhebung basophiler Substanzen eignet sich sehr gut Methylgrün und Pyronin, beides basische Farbstoffe, von denen das rot färbende Pyronin der stärker basische ist.

Färbung mit Methylgrün-Pyronin nach A. Pappenheim (1911)[4]).

Pyronin ist das Chlorid des Tetramethyl- (Pyronin G) oder Tetraäthyldiamidodiphenylmethans (Pyronin B), die Zusammensetzung des Methylgrüns ist Seite 94 angegeben.

Die Lösung wird jedesmal frisch hergestellt, indem von den Farbstoffen in Substanz etwa 3—4 Teile (Federmesserspitzchen!) Methylgrün und 1—2 Teile Pyronin in ein Reagensglas gebracht werden und 2—3 Finger hoch destilliertes Wasser zugefügt wird. Die Lösung muß eben deutlich blau erscheinen. Bringt man einen Tropfen hiervon auf Fließpapier, so tritt sofort physikalische Dissoziation des Gemisches ein (Kapillaranalyse), indem der stärker und schneller diffundierende grüne Farbstoff eine leuchtende rein grüne Peripherie um das dunkle violettrote Zentrum des Fleckes bildet. Unter Umständen hilft man mit dem einen oder dem anderen Farbstoffe zur Erzielung dieses Effektes nach.

P. G. Unna[5]) hat der Lösung noch Glyzerin und Karbol zugesetzt, seine Lösung besteht aus:

Methylgrün	0,15 g
Pyronin	0,25 „
Alkohol	2,5 „
Glyzerin	20,0 „
Aqua carbolisata ($^1/_2$ $^0/_0$) ad	100,0 „

20 Tropfen dieser Lösung kommen in ein Reagensglas, welches 10 Minuten in ein Wasserbad von 40° gestellt wird.

Die durch absol. Alkohol oder sonstwie fixierten Präparate werden auf 5—10 Minuten in die in den Brutschrank gestellten Lösungen eingelegt, dann in destilliertem Wasser abgespült, abgetupft und nach dem Trocknen eingebettet[6]).

1) H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 91.
2) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1901, 12, S. 799.
3) Zu beziehen von Dr. Grüblers Laboratorium, Adresse S. 91, Anm. 1.
4) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1901, 9, S. 427; über die Theorie der Färbung siehe Lit.-Verzeichnis 1908, 11.
5) P. G. Unna, Histotechnik der leprösen Haut, S. 25. Verlag von L. Voß, Hamburg und Leipzig 1911.
6) Nach persönlichen Angaben von A. Pappenheim.



Basophile Substanzen werden leuchtend purpurrot gefärbt, die Erythrozyten selbst leiden aber etwas bei der Färbung.

Besonders panoptisch fallen die simultanen Färbungen mit eosinsaurem Methylenblau aus.

Färbung mit eosinsaurem Methylenblau nach L. Jenner (1899)[1].

Der Farbstoff wird in folgender Weise hergestellt. Gleiche Teile einer 1,20—1,25%-igen Lösung von Grüblers Eosin-gelblich in destilliertem Wasser und einer 1%-igen Lösung von Grüblers Methylenblau medicinale, gleichfalls in destilliertem Wasser, werden in einer offenen Glasschale miteinander gemischt und mit einem Glasstab vollständig umgerührt. Die Mischung läßt man 24 Stunden stehen, wobei ein Niederschlag ausfällt. Dann wird filtriert und der Rückstand entweder an der Luft oder rascher im Brutschrank oder auf dem Wasserbad bei 55° C getrocknet, darauf vom Filter losgelöst und gepulvert. Dann wird das Pulver in destilliertes Wasser aufgenommen, aufgeschüttelt, filtriert und der auf dem Filter verbleibende Rückstand mit destilliertem Wasser ausgewaschen, bis dieses, nur noch leicht schmutzig purpurfarben gefärbt, abfließt. Endlich wird wieder getrocknet, gepulvert und das Pulver in einer trockenen Flasche aufbewahrt.

Zur Herstellung der Lösung wird das Pulver tüchtig durchgeschüttelt, 0,5 g abgewogen, zu 100 ccm reinem Methylalkohol (Merck) hinzugefügt und die Lösung filtriert, die sich gut hält. Der Farbstoff konnte früher von R. Kanthack, London, Bernersstreet 18, W., bezogen werden, jetzt stellt das Laboratorium von Dr. Grübler in Leipzig[2]) den Farbstoff in Tabletten her, von denen eine in 10 ccm Methylalkohol gelöst wird.

Die Färbung wird in einem geschlossenen Glas vorgenommen, um Verdunstung und damit Bildung eines Niederschlages zu verhindern. Das Präparat braucht nicht fixiert, sondern nur lufttrocken zu sein, da der Methylalkohol neben der Lösung des Farbstoffs auch die Fixierung des Trockenpräparates übernimmt. Nach 1—3 Minuten ist die Färbung beendet, worauf mit destilliertem Wasser abgespült wird, bis der Ausstrich eine blaßrote Farbe hat, was in 5—10 Sekunden der Fall ist. Dann wird hoch über einer Flamme oder noch besser durch Schwenken in der Luft getrocknet, worauf in Xylol- oder neutralen Kanadabalsam eingeschlossen wird.

Kerne, basophile Punktierung und Polychromatophilie werden gut hervorgehoben, Ringkörper und Chromatinpartikelchen nicht. Dasselbe gilt von den anderen Färbungen mit eosinsaurem Methylenblau.

Statt den Farbstoff in Methylalkohol zu lösen und wirken zu lassen, hat ihn H. Laurent in kochendem Wasser gelöst und mit der noch warmen Lösung die Färbung vorgenommen.

Färbung mit eosinsaurem Methylenblau nach H. Laurent (1900)[3].

Der Autor hat in rationeller Weise auf je 1 Mol Eosin (Eosinkalium von Grübler, Molekulargewicht 724) 2 Mol Methylenblau, chemisch rein

1) L. Jenner, Lit.-Verzeichnis 1899, 6.
2) Adresse S. 91. Anm. 1.
3) H. Laurent, Lit.-Verzeichnis 1900, 1.

und chlorzinkfrei (ad usum internum von Merck in Darmstadt, Molekulargewicht 319,4), verwendet, bzw. entsprechende Bruchteile eines Moles. Zu dem Zwecke löst er genau 1 g Eosin in 1000 ccm destilliertem Wasser und 1 g Methylenblau in ebensoviel Wasser und setzt zu 1000 ccm der Eosinlösung in einer Flasche 882 ccm der Methylenblaulösung. Das Gemisch bleibt 48 Stunden stehen, nach welcher Zeit der neutrale Farbstoff fast vollständig ausgefallen ist; gut verkorkt, bleibt das Gemisch lange haltbar.

Unmittelbar vor der Färbung wird die Flasche gut durchgeschüttelt und zu 1 Teil des Gemisches in einem Reagenzglas 4 Teile destilliertes Wasser hinzugefügt, worauf möglichst schnell zum Kochen erhitzt wird. Gleich nach dem ersten Aufkochen kühlt man das Reagenzglas in Wasser etwas ab und filtriert die warme Lösung, falls es erforderlich sein sollte, durch ein Stückchen Josephpapier,[1]) das man auf dem Trichter läßt und immer wieder benutzt.

Das durch Hitze fixierte Trockenpräparat wird in die noch klare, warme, aber nicht zu heiße Lösung gebracht und darin $^1/_2$ bis 6 Stunden gefärbt. Dann wird das Präparat herausgenommen, ohne es vorher abzuspülen zwischen Fließpapier getrocknet und in absolutem Alkohol so lange hin- und herbewegt, als noch Farbwolken abgehen. Das Entfernen des Niederschlages kann man in dem Alkohol durch Abwischen mit einem weichen Pinsel beschleunigen. Aus dem Alkohol kommt das Präparat in reines Xylol und kann dann in Lack oder noch besser in eingedicktes Zedernholzöl eingeschlossen werden.

Dem Jennerschen Verfahren (S. 96) ist das May-Grünwaldsche verwandt.

Färbung mit eosinsaurem Methylenblau nach R. May und L. Grünwald (1902)[2]).

Der Farbstoff wird dadurch hergestellt, daß 1 Liter 1 ‰-ige Eosinlösung (Eosin wasserlöslich gelblich) mit 1 Liter 1 ‰-iger Methylenblaulösung (Methylenblau medicinale) gemischt wird, worauf nach einigen Tagen mit Hilfe der Saugpumpe filtriert wird. Der Rückstand wird mit kaltem destilliertem Wasser so lange gewaschen, bis das Filtrat fast ungefärbt bleibt.

Der Filterrückstand bildet eine nach dem Trockenwerden dunkle, sich abblätternde Masse, welche unter starker Vergrößerung (Immersion) sich aus braunroten, nadelförmigen und stäbchenförmigen Kristallen zusammengesetzt erweist. Von dem Farbstoff wird eine gesättigte methylalkoholische Lösung hergestellt, die man in ein weites, gut verschließbares Standglas bringt, in dem sie sehr oft benutzt werden kann.

In das Standglas stellt man den frisch beschickten Objektträger sofort nach dem Antrocknen der Blutschicht, ohne sie vorher zu fixieren, auf 2 Minuten, bei schlecht färbbarem Blut bis zu 24 Stunden ein und spült ihn dann in destilliertem Wasser, dem einige Tropfen der Farbstofflösung zugesetzt sind, ab. Nach dem Trocknen mit Fließpapier kann man direkt einen Tropfen Zedernholzöl auf das Präparat bringen und es mit der Im-

1) Von der Firma P. Altmann, Berlin NW, Luisenstraße, zu beziehen.
2) R. May und L. Grünwald, Lit.-Verzeichnis 1902, 7, S. 268.

mersionslinse betrachten, oder man schließt in Kanadabalsam ein. Von gewöhnlichem Blut läßt sich so ein Präparat, vom Einstich an bis zur mikroskopischen Untersuchung gerechnet, in ungefähr 5 Minuten fertig stellen.

O. Naegeli[1]) und W. Türk[2]) trennen bei der Methode von Jenner und May-Grünwald die Fixation des Präparates strenger von der eigentlichen Färbung. Die unverdünnte methylalkoholische Lösung des Farbstoffes soll hauptsächlich fixieren, und zwar 2—10 Minuten lang. Durch Verdünnung mit dem gleichen Volumen destillierten Wassers und durch mehrere Minuten lange Einwirkung der verdünnten und durch Ansaugen und Austreiben mit der Tropfpipette gemischten Lösung soll es dann zur eigentlichen Färbung kommen, worauf erst mit destilliertem Wasser abgespült, getrocknet und in neutralen Kanadabalsam eingebettet wird. G. Aßmann[3]) verwendet zur Verdünnung der Farbstofflösung destilliertes Wasser, das in 20 ccm 5 Tropfen einer 1 $^0/_{00}$-igen Kaliumcarbonicumlösung enthält.

Bei diesen und den folgenden Methoden benutzt man gebrauchten Methylalkohol zur Reinigung der Gefäße, welche die Farbstofflösungen enthielten.

Die weitgehendste Differenzierung ermöglichen schließlich diejenigen Methoden, welche auf der Färbung nach Romanowsky[4]) vor allem mit Methylenazur basieren.

Färbung mit Methylenazur nach W. B. Leishman (1901)[5]).

Der Autor stellt eine 1 $^0/_0$-ige Lösung von Methylenblau medic. (Grübler) in destilliertem Wasser her, setzt 0,5 $^0/_0$ Natriumkarbonat zu und hält die Lösung 12 Stunden bei 65^0 C im Paraffinofen. Dann läßt er noch 10 Tage bei Zimmertemperatur stehen.

Von Eosin extra B. A. (Grübler) wird eine 0,1 $^0/_0$-ige Lösung in destilliertem Wasser bereitet.

Von beiden Lösungen werden dann in einem weiten offenen Glase gleiche Volumenteile gemischt, 6—12 Stunden stehen gelassen und von Zeit zu Zeit mit einem Glasstab umgerührt. Der entstehende flockige Niederschlag wird auf einem Filter gesammelt und so lange mit destilliertem Wasser gewaschen, bis dieses farblos oder schwach blau gefärbt abfließt. Der Rückstand wird getrocknet und pulverisiert, er enthält das wirksame Prinzip der Romanowsky-Färbung.[6])

Von dem Farbstoffpulver wird eine 0,15 $^0/_0$-ige Lösung in reinem Methylalkohol (Merck) hergestellt und in einem verschlossenen Glase aufbewahrt. Die Lösung ist haltbar.

Zur Färbung läßt man auf das unfixierte Bluttrockenpräparat 4—5 Tropfen der Farbstofflösung fallen und bewegt das Präparat so, daß sich die Lösung gut auf dem Ausstrich verteilt. Nach $\frac{1}{2}$ Minute setzt man 6—8 Tropfen

1) Siehe H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 88.
2) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1912, 2, S. 25.
3) G. Aßmann, Lit.-Verzeichnis 1908, 7, S. 35.
4) Romanowsky, Lit.-Verzeichnis 1891, 7, S. 299.
5) W. B. Leishman, Lit.-Verzeichnis 1901, 11.
6) Der Farbstoff ist auch von dem Laboratorium Dr. Grüblers, Adresse S. 91, erhältlich.

destilliertes Wasser zu, mischt dieses mit der Lösung und läßt 5 Minuten einwirken. Dann wird mit destilliertem Wasser abgewaschen, worauf man noch einige Tropfen des Wassers für 1 Minute auf dem Ausstrich stehen läßt. Jetzt kann direkt in Wasser mikroskopisch untersucht werden oder nach dem Trocknen (ohne Hitze) in Xylol- oder neutralen Kanadabalsam eingeschlossen werden. Noch besser als durch Aufschichten der Farbstofflösung fixiert und färbt man durch Unterschichten..

Die ganze Prozedur dauert von der Blutentziehung bis zur Untersuchung 7—8 Minuten. Die Methode ist ihrer Einfachheit und Zuverlässigkeit halber sehr zu empfehlen. Die Leishmanlösung und die im folgenden zu nennenden Azurlösungen färben, was mit eosinsaurem Methylenblau allein nicht gelingt, neben allen anderen, die roten Blutkörperchen betreffenden histologischen Details auch noch Cabot-Schleipsche Ringkörper und Chromatinkörnchen rot, sofern die Lösung genügend lange, bis zu einer Stunde, einwirkt.

Färbung mit Methylenazur nach G. Giemsa (1902—1910)[1].

Zur Verwendung kommt Azur II-Eosin, das aus gleichen Teilen eosinsaurem Methylenblau und eosinsaurem Methylenazur besteht, und Azur II, eine Mischung von gleichen Teilen Methylenazur und Methylenblauchlorhydrat.

Die nötige Farbstammlösung „Giemsas Lösung für die Romanowsky-Färbung"[2]) ist folgendermaßen zusammengesetzt:

Azur II-Eosin	3,0 g
Azur II	0,8 „
Glyzerin (Merck, chem. rein)	125,0 „
Methylalkohol (Kahlbaum I)	375,0 „

Für die Färbung sind folgende allgemeine Regeln zu beachten.

Das zu benutzende Wasser muß absolut sauber und säurefrei sein, ein sehr geringer Alkaleszenzgrad ist dagegen meist von Vorteil. Man prüft das Wasser mit Hilfe einer frisch bereiteten Lösung von einigen Körnchen Hämatoxylin in etwas absolutem Alkohol; 10 ccm des zu prüfenden Wassers mit einigen Tropfen dieser Lösung vermischt, sollen sich innerhalb 5 Minuten, nicht aber vor Ablauf einer Minute, schwach aber deutlich violett färben. Bleibt das Wasser farblos, so ist zum Vorratsgefäß solange tropfenweise 1%-ige Natriumkarbonatlösung zuzusetzen, bis in einer neuen Probe die erwähnte Reaktion innerhalb der angegebenen Zeit erfolgt. Soeben aufgefangenes Regen- und Schneeschmelzwasser eignet sich, wenn es filtriert und abgekocht worden ist, gleichfalls zur Färbung, Leitungswasser dagegen nur selten, ein gewisser Gehalt desselben an anorganischen Salzen, namentlich an denen des Magnesiums, kann die Färbung völlig vereiteln.

Die Farblösung muß nach dem Verdünnen mit Wasser (10 Tropfen

1) G. Giemsa, Lit.-Verzeichnis 1911, 10, S. 26; siehe dort S. 38 die weiteren Arbeiten von Giemsa.

2) Am besten von Dr. Grüblers Laboratorium, Adresse S. 91, Anm. 1, zu beziehen.

— aber nicht mehr, auf 10 ccm destilliertes Wasser) „unverzüglich“ auf das vorher bereit gelegte Präparat gegossen werden.

Zum Verdünnen der Farblösung benutze man nur weite graduierte Glaszylinder (ca. 2,5 cm Durchmesser), dagegen keine engen Reagenzgläser. Man träufle die Lösung schnell in das Wasser, schwenke hierbei den Zylinder um, aber nur so lange, bis eine homogene Durchmischung beider Flüssigkeiten erfolgt ist. Schüttelt man zu lange, so läuft man Gefahr, daß sich das Farbsalz, welches aus der stark übersättigten wässerigen Lösung in normaler Weise erst nach Ausübung der Wirkung ausfallen soll, zum Nachteil der Färbung zu früh ausscheidet.

Man färbt am besten im Färbetrog nach M. Mayer mit Überstülpdeckel[1]) bei horizontaler Lage des Präparates. Pinzetten aus Metall müssen vermieden, Pinzetten aus Horn usw. können verwendet werden.

Die Färbung wird nun in folgender Weise vorgenommen.

Die 30 Minuten lang und länger in absolutem Alkohol oder 2—3 Minuten in Methylalkohol oder absolutem Alkohol + Äther āā fixierten lufttrockenen Ausstrichpräparate werden mit Fließpapier abgetupft und mit der frisch verdünnten Giemsalösung (10 Tropfen auf 10 ccm Wasser) übergossen. Mindestens 15 Minuten oder beliebig länger wird gefärbt, worauf im Wasserstrahl abgewaschen wird. Eine Differenzierung in reinem Azeton, destilliertem oder ganz schwach mit Essigsäure versetztem Wasser ist meist nur nach sehr langer Färbung nötig. Nach dem Abtupfen und Trocknen wird in Zedernöl eingeschlossen.

O. Naegeli[2]) empfiehlt auch hier das Unterschichten mit der Farbstofflösung und Einbetten in neutralen Kanadabalsam.

Bequemer ist folgende neuere, von Giemsa angegebene Methode, bei der, ähnlich wie bei der Leishmanschen Methode, Fixierung und Färbung mit der Farbstofflösung vorgenommen wird.

Man verdünnt die käufliche Giemsalösung im Tropffläschchen mit dem gleichen Volumen Azeton oder Methylalkohol reinster Qualität. Da die Mischung nur einige Tage volle Farbkraft behält, bereitet man sich nicht zuviel Mischung.

Das lufttrockene, sehr dünn ausgestrichene Präparat (Objektträger) wird mit der Schichtseite nach oben in die genannten Farbtrögchen gelegt und aus dem Tropffläschchen soviel Farbmischung auf das Präparat gebracht, bis dieses völlig damit benetzt ist (10—15 Tropfen), worauf zugedeckt wird. Nach $\frac{1}{2}$ bis höchstens 1 Minute wird soviel destilliertes, nötigenfalls vorher schwach alkalisiertes Wasser in das Trögchen gegossen, bis das Präparat ganz von Flüssigkeit bedeckt ist (10—12 ccm). Durch Hin- und Herschwenken wird Wasser und Farbstofflösung gleichmäßig gemischt. Nach 3—5 Minuten oder später wird das Präparat herausgenommen, mit Wasser abgespült, getrocknet und eingeschlossen. Analog verfährt man mit Deckglaspräparaten.

Die erste, von Giemsa angegebene Methode ist, sofern sie gelingt, zweifellos die beste von allen bisher beschriebenen und noch zu beschrei-

1) Bei C. Zeiß, Jena, und F. und M. Lautenschläger, Berlin, zu haben.

2) H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 92.

benden Methoden, sie gelingt aber nicht immer so gleichmäßig, wie es wünschenswert ist. Leicht kann, wenn das Wasser etwas zu alkalisch ist, Polychromatophilie vorgetäuscht werden, wo gar keine besteht. Auch durch Auskochen und dadurch stattfindendes Befreien von Kohlensäure allein kann das gewöhnliche destillierte Wasser schon verbessert werden.

Die zweite, die Schnellfärbemethode, gelingt, wenn die Stammlösung mit Azeton verdünnt wird, gut, nicht aber bei Verdünnung mit Methylalkohol, jedenfalls kommt es sehr auf die Beschaffenheit dieser Stoffe an. An Güte erreicht aber die Schnellfärbemethode die langsamer arbeitende nicht.

Auch in Unnas polychromem Methylenblau ist Methylenazur enthalten.[1])

Um die Eosinophilie besser zur Anschauung zu bringen, hat A. Pappenheim schließlich noch die Giemsasche Methode mit der May-Grünwaldschen dadurch kombiniert, daß er mit der letzteren fixiert und vorfärbt, mit der ersteren nachfärbt.

Das kombinierte May-Grünwald-Giemsa-Verfahren nach A. Pappenheim (1908)[2]).

Der Modus ist ganz allgemein der folgende.

Fixation des Trockenpräparates durch Behandeln mit der alkoholischen May-Grünwald-Lösung 3 Minuten.

Färben in dieser Lösung durch Zusatz von einer gleichen Menge destillierten Wassers 1 Minute.

Abgießen ohne abzuwaschen und Behandeln bzw. Umfärben und Nachfärben mit frisch hergestellter wässeriger Giemsalösung (je 3 Tropfen auf 2 ccm Wasser) 15 Minuten.

Gründliches Abwaschen, Trocknen (nicht über der Flamme, weil dadurch die Azurrotfärbung leidet), Einbetten in neutralen Kanadabalsam oder Dammarlack.

Im Pappenheimschen Buche ist Seite 252 auch noch ein etwas abgekürztes Verfahren beschrieben.

Statt mit Giemsalösung färbt A. Pappenheim[3]) neuerdings auch mit Panchrom nach. Panchrom besteht aus

Methylenblau	1,0	g
Toluidinblau	0,5	„
Azur I	1,0	„
Methylenviolett	0,5	„
Eosin	0,75	„
Methylalkohol	250,0	„
Glyzerin	200,0	„
Azeton	50,0	„

15 Tropfen dieses vom Grüblerschen Laboratorium[4]) hergestellten Ge-

1) Siehe L. Michaelis, Lit.-Verzeichnis 1901, 13, S. 767. Die Farbstofflösung wird in Dr. Grüblers Laboratorium, Adresse S. 91, Anm. 1, hergestellt.
2) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1911, 6, S. 250.
3) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1911, 2.
4) Adresse S. 91, Anm. 1.

misches werden in 10 ccm destilliertes Wasser aufgenommen und 15 Minuten lang damit gefärbt, worauf gewaschen, getrocknet (nicht über der offenen Flamme!), kurz in absoluten Alkohol eingetaucht, wieder getrocknet und schließlich eingebettet wird.

Auch dieses Verfahren hat Pappenheim noch etwas abgekürzt (S. 178).

Ein kombiniertes Verfahren (Romanowsky- und Jennerfärbung) hat neuerdings auch O. L. E. de Raadt[1]) angegeben. K. Hollborn fixiert mit einem Gemisch von 4 Teilen May-Grünwald- und 1 Teil Leishmanlösung[2]) 3 Minuten und färbt dann nach Wasserzusatz 5 Minuten[3]).

Die erste Pappenheimsche Methode mit Nachfärbung durch Giemsalösung fand Verfasser recht brauchbar, die zweite mit Nachfärbung durch Panchrom und die Holbornsche Methode weniger geeignet. Eine gerechte Beurteilung all dieser Methoden ist aber insofern erschwert, als wechselnde Beschaffenheit der Fixiermittel und des Wassers und ferner geringe Modifikationen des Verfahrens eine große Rolle spielen können.

Bei all diesen Färbungen nach dem Romanowskyschen Prinzip muß daher der Färbeakt den jeweiligen Bedürfnissen durch entsprechende Wahl der Fixier-, Verdünnungs- und Spülflüssigkeit, der Dauer und Intensität der Färbung und des Abspülens angepaßt werden. Stärkere Wirkung erzielt man unter Umständen durch Erwärmung der Farblösung. Panoptisch im wahren Sinne des Wortes und in bezug auf sämtliche körperlichen Elemente des Blutes ist kaum eine Methode, was bei der so sehr variierenden chemischen Beschaffenheit dieser Elemente auch zu viel verlangt wäre. Für Versuche im großen, bei denen die einzelne Färbung nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen darf, eignet sich die Leishmanfärbung besonders gut, für feinere Differenzierungen die angepaßte erste Giemsasche Methode.

d) Die Zählung im gefärbten Trockenpräparate.

Handelt es sich um quantitative Ermittelungen im gefärbten Trockenpräparate, so muß auf die möglichst gleichmäßige Ausbreitung der körperlichen Elemente des Blutes ganz besonderer Wert gelegt werden. Aus Gründen, welche früher (S. 85) erörtert wurden, eignen sich Deckglaspräparate viel besser als Objektträgerpräparate, sofern auf beiden Deckgläsern gezählt wird. Immer hat man sich aber bewußt zu bleiben, daß die gleichmäßige Ausbreitung der körperlichen Elemente des Blutes bei ihrer so sehr verschiedenen Größe, Form und Klebrigkeit und bei den beträchtlichen Unterschieden im spezifischen Gewicht sehr erschwert ist, weshalb man, wenn irgend möglich, eine Zählung der Erythrozytenarten in der Zählkammer nach den früher beschriebenen Methoden (S. 81) einer Zählung im Trockenpräparate vorziehen wird.

Bisher hat die zahlenmäßige Ermittelung der Erythrozytenart, abgesehen vielleicht von der Bestimmung des Verhältnisses Erythroblasten:

1) O. L. E. de Raadt, Lit.-Verzeichnis 1911, 15.

2) Zu beziehen von Dr. Grüblers Laboratorium, Adresse S. 91, Anm. 1.

3) Über einige moderne Romanowskyfärbungen siehe auch S. Szecsi, Lit.-Verzeichnis 1912, 18.

Erythrozyten, keine besondere Bedeutung in der Hämatologie erlangt, man begnügt sich meist mit der Konstatierung qualitativer Veränderungen der Erythrozyten und der Schätzung quantitativer. So ist z. B. die Konstatierung der Tatsache, ob beim Erwachsenen überhaupt Megalozyten bzw. Megaloblasten im Präparate enthalten sind, ob also ein Rückschlag in die embryonale Blutbildung stattgefunden hat, was nur bei schweren Schädigungen der blutbereitenden Organe der Fall ist, viel bedeutsamer als die genaue Ermittelung der Zahl dieser Gebilde. Immerhin darf der Wert einer zahlen-

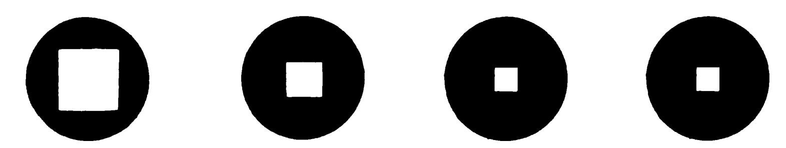


Fig. 65.
Satz quadratischer Okularblenden nach P. Ehrlich.

mäßigen Angabe, sofern mit der nötigen Kritik verfahren wird und man sich der Fehlergrenzen der Methode bewußt bleibt, nicht unterschätzt werden.

Man kann ganz analog verfahren, wie es P. Ehrlich[1]) zur Ermittelung des Verhältnisses der weißen Blutkörperchen zu

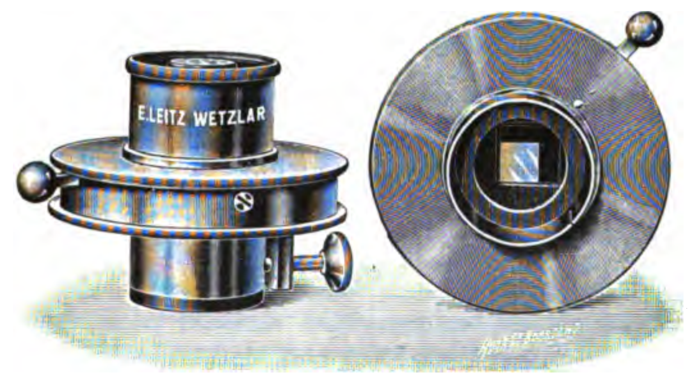


Fig. 66.
Okular mit veränderlicher Blende nach P. Ehrlich.

den roten angegeben hat. Man beschafft sich einen Satz quadratischer Okularblenden, deren Quadratseiten sich wie 1:2:3...:10 verhalten, so daß entsprechende Flächen von 1:4:9...:100 abgegrenzt werden (Fig. 65), oder noch besser bedient man sich des Ehrlichschen Okulars (Fig. 66), in dem durch einen sehr handlichen Mechanismus quadratische Gesichtsfeldausschnitte von bekannten Größenverhältnissen hergestellt werden können.

Überwiegen im Präparate die normalen Erythrozyten beträchtlich über die abnormen, so zählt man zunächst mit Blende 10, also im Gesichtsfeld

1) P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 20.

von der relativen Größe 100, die abnormen Blutkörperchen und trägt die gefundenen Zahlen in ein vorher angefertigtes Schema ein, das Rubriken für die verschiedenen Erythrozytenarten enthält. Ohne das Präparat zu verschieben, zählt man dann mit Blende 1, also auch im Gesichtsfeldausschnitt 1, alle roten Blutkörperchen ohne Rücksicht auf die Art. Dann stellt man mit Hilfe des verschiebbaren Objekttisches einen anderen Teil des Präparates ein, zählt wieder in der angegebenen Weise und fährt so fort, bis man, sofern dies überhaupt möglich ist, einige hundert abnorme Blutkörperchen gezählt hat. Beträgt schließlich die Gesamtzahl der in dem kleinen Gesichtsfeldausschnitt ohne Rücksicht auf die Art ermittelten Blutkörperchen n, die Zahl der im großen Gesichtsfeldausschnitt gefundenen abnormen Erythrozyten a, so kommen auf 100 n Erythrozyten a abnorme, also $\frac{a}{n}$ % abnorme.

Je nach der Zahl der vorhandenen abnormen Erythrozyten im Vergleich zu den normalen wird man das Verhältnis der quadratischen Gesichtsfeldausschnitte zu wählen haben, wobei man stets darauf bedacht sein muß, möglichst viele abnorme Formen zu zählen.

Soll nicht nur die relative Zahl der abnormen Erythrozyten, sondern auch die absolute in 1 cmm Blut festgestellt werden, so muß noch eine Zählung der Erythrozyten in der Zählkammer ohne Rücksicht auf die Art vorgenommen werden. Kommen auf 100 n Erythrozyten a abnorme, und sind in 1 cmm desselben Blutes insgesamt N-Erythrozyten enthalten, so beträgt die Zahl der abnormen in 1 cmm Blut $\frac{Na}{100\ n}$.

IV. Zählung und Differenzierung der Leukozyten.

Da auch die Leukozyten in verschiedenen Arten im Blute vorkommen, so kann je nach den Bedürfnissen die Zählung ohne oder mit Rücksicht auf die Art erfolgen.

A. Zählung der Leukozyten ohne Rücksicht auf die Art.

Bei der Zählung der Leukozyten muß damit gerechnet werden, daß diese Elemente im Blute auch unter physiologischen Verhältnissen nach Zahl und Art viel mehr schwanken können als die Erythrozyten, es muß daher das Blut unter möglichst konstanten Bedingungen entzogen werden. Durch ihre Farblosigkeit und durch den stärkeren Glanz beim Heben des Mikroskoptubus (Hebeglanz) sind die Leukozyten von den Erythrozyten zu unterscheiden, die eher „senkeglänzend" sind. Beim Menschen und den Säugetieren sind ferner die Leukozyten, abgesehen von den Lymphozyten, größer als die Erythrozyten, bei den übrigen Wirbeltieren pflegt es umgekehrt zu sein. Die Leukozyten sind schließlich alle kernhaltig, die reifen Erythrozyten der Säugetiere sind es nicht. Zur besseren Unterscheidung der Leukozyten von den Erythrozyten empfiehlt sich die Färbung der ersteren (S. 75 dieses Handbuches)[1]).

1) Über die Geschichte der Leukozytenzählung siehe E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 11 und R. Kjer-Petersen, Lit.-Verzeichnis 1906, 12, S. 3.

Bei Zählung der Leukozyten der Kaltblüter hat man damit zu rechnen, daß diese sich bei Zimmertemperatur amöboid bewegen, also ihren Platz auf der Zählfläche wechseln können.

Dieselben Methoden, welche zur Zählung der Erythrozyten angegeben wurden (S. 6 u. f.), können mutatis mutandis auch zur Zählung der Leukozyten dienen.

K. Vierordt[1]) deutet die Zählung der Leukozyten nur an, H. Welcker hat sie analog seiner Methode für rote Blutkörperchen (S. 8) durchgeführt.

1. Die Methode von H. Welcker (1854)[2]).

Der Autor setzte zu 25 ccm Wasser 1 ccm frisch entleertes Blut, wodurch die roten Blutkörperchen aufgelöst wurden, die weißen aber erhalten blieben. Aus der rasch umgeschüttelten Mischung wurden mit einer Kapillare 2—3 cmm abgemessen, völlig auf ein Deckgläschen entleert, dort mit Gummischleim verrührt und das Ganze ausgebreitet. Nach dem Trocknen wurden im ganzen Bereiche des Fleckes die Leukozyten gezählt und durch eine einfache Multiplikation der Gehalt des Blutes an Leukozyten berechnet.

Ob Cramer und Potain ihre Seite 9 und 11 beschriebenen Methoden zur Zählung roter Blutkörperchen auch zur Zählung weißer benutzt haben, geht aus den betreffenden Arbeiten nicht hervor.

2. Die erste Methode von L. Malassez mit dem Compte-globules à capillaire artificiel (1873)[3]).

Analog der Zählung der roten Blutkörperchen (S. 12) hat Malassez die Zählung der weißen mit der Capillaire artificiel vorgenommen. Verdünnt wurde aber nur 50-fach, und zwar in der Weise, daß bis zur Marke 1 des Melangeurs Blut, dann etwas Luft, dann wieder Blut bis zur gleichen Marke eingesaugt, worauf erst Verdünnungsflüssigkeit bis zur oberen Marke nachgesaugt wurde. Nach der Füllung der Zählkapillare wurden in 10—20 nebeneinander gelegenen mikroskopischen Feldern die Leukozyten gezählt. Angenommen, es seien in 20 Feldern 32 Leukozyten gefunden worden und es entsprach ein Feld von 500 μ Länge $\frac{1}{150}$ cmm, dann kamen auf 1 cmm Blut $\frac{32 \cdot 150 \cdot 50}{20} = 12000$ Leukozyten. Vergleichende Versuche mit den älteren Methoden führten zu gleichen Resultaten.

Die Zahl der wirklich gezählten Leukozyten ist viel zu gering, um einen guten Durchschnittswert zu erhalten; auch ist die Unterscheidung der Leukozyten von den Erythrozyten nicht so ganz leicht, was auch für alle anderen Methoden gilt, bei welchen die Erythrozyten nicht aufgelöst oder die Leukozyten durch Färbung nicht kenntlich gemacht werden.

1) K. Vierordt, Lit.-Verzeichnis 1852, 3, S. 867.
2) H. Welcker, Lit.-Verzeichnis 1854, 2, S. 31.
3) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1874, 1, S. 40.

3. Die Methode von G. Hayem und A. Nachet mit dem Hématimètre (1875)[1].

Die gleiche Methode, welche die Autoren zur Zählung der Erythrozyten angegeben haben (S. 14), empfehlen sie auch zur Zählung der Leukozyten, nur muß das Blut im allgemeinen 100-fach verdünnt und in einer viel größeren Anzahl von Feldern gezählt werden.

Wie W. R. Gowers (S. 19 dieses Handbuches) die weißen Blutkörperchen gezählt hat, ist nicht ersichtlich, er erwähnt nur, daß diese Elemente sich beim Heben des Objektivs durch stärkere Lichtbrechung von den roten Blutkörperchen unterscheiden, und daß auch in schwacher Verdünnungsflüssigkeit, in welcher die roten Blutkörperchen aufquellen, die Unterscheidung möglich ist.[2])

4. Die Methode von R. Thoma (1882)[3].

In derselben Zählkammer, in welcher R. Thoma die Zahl der Erythrozyten ermittelte (S. 20), hat er auch die Leukozyten gezählt, nur daß in diesem Falle von dem Zählnetz abgesehen und als Einheit der Zählfläche der Teil der Fläche gewählt wurde, welcher im Gesichtsfelde des Mikroskops erschien.

Die Auswertung der Größe dieses Feldes wird mit Hilfe der auf dem Kammerboden befindlichen Netzteilung vorgenommen, indem durch Ausziehen oder Verkürzen des Tubus die Vergrößerung so gewählt wird, daß der Durchmesser des Gesichtsfeldes genau ein ganzes Vielfaches der Längeneinheit des Zählnetzes $\left(\frac{1}{20}\text{ mm}\right)$ beträgt; die entsprechende Stellung des Tubus wird markiert, die Marke ist aber nur gültig, solange die Deckglasdicke gleich bleibt. Beträgt z. B. der Durchmesser des Gesichtsfeldes gerade 11 Einheiten, so ist die Einheit der Zählfläche $\left(\frac{11}{40}\right)^2\pi$ und bei einer Kammerhöhe von 0,100 mm die Einheit des Zählraumes $\left(\frac{11}{40}\right)^2\pi . 0{,}100 = Q$ cmm groß.

Das Blut wird mit einem kleineren Melangeur 10- bis 20-fach verdünnt. Die Verdünnungsflüssigkeit ist Wasser mit $^1/_3$ % Essigsäurehydrat, in ihr werden die roten Blutkörperchen aufgelöst, die weißen jedenfalls innerhalb 2—18 Stunden nicht.

Die Verdünnung des Blutes, die Füllung der Kammer und die Auszählung derselben wird in analoger Weise wie bei Zählung der roten Blutkörperchen vorgenommen; zur Erleichterung der Zählung kommt ins Okular eine kleine Glasplatte mit Felderteilung. Ergeben sich z. B. bei einer Zählung in 50 Gesichtsfeldern, die man bei 200-facher Vergrößerung

1) G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1875, 2, S. 295, G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1878, 2, S. 10, 1889, 1, S. 38 und Kataloge von A. Nachet.

2) W. R. Gowers, Lit.-Verzeichnis 1877, 1, S. 798 und neuester Katalog der Firma Hawksley S. 5.

3) R. Thoma, Lit.-Verzeichnis 1882, 1.

leicht einstellen kann, da man nicht an das Zählnetz gebunden ist, 950 Leukozyten, und ist die Verdünnung eine 10-fache, so beträgt der Gehalt in 1 cmm Blut $\frac{950 \cdot 10}{50 \cdot Q}$ Leukozyten.

Die Mischpipette muß gleich nach dem Gebrauche gereinigt werden sonst bildet sich an der Spitze leicht ein Pfropf.

Da Thoma an verschiedenen Tagen bei ein und demselben Individuum außerordentlich schwankende Werte fand[1]), so daß die wahrscheinlichen Fehler der Methode keine merkliche Beeinflussung erfahren, ob man täglich nur 300 Zellen zählt oder die Zählung auf 1000 Zellen erstreckt, so schien es ausreichend, die Zählung auf 300—600 Zellen zu beschränken.

Thoma hat schon beobachtet, daß einzelne Leukozyten in der Zählkammer nicht sedimentieren, sie entgehen also dem Zählenden, wenn das Mikroskop nur auf die Zählfläche eingestellt wird.

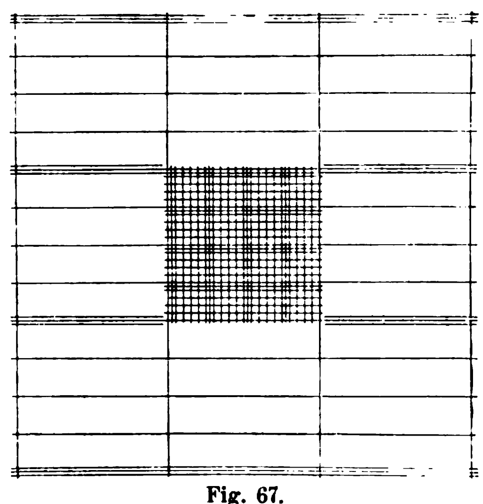
E. Reinert[2]) hat die Thomasche Methode in einigen Punkten modifiziert. Um die für rote Blutkörperchen bestimmte Mischpipette auch für weiße verwenden zu können, wurde das Blut mit ihr 100-fach verdünnt, dafür aber dem Zählraum eine Höhe von 0,200 mm erteilt. Die Einheit der Zählfläche wurde so gewählt, daß sich ein möglichst einfacher Multiplikationsfaktor ergab. Was schon N. Heyl[3]) gerügt hat, daß in der Thomaschen Verdünnungsflüssigkeit die Leukozyten vermöge der sie umgebenden Körnermassen zu großen Haufen zusammengeklebt sind, welche jede Zählung unmöglich machen, hat Reinert bestimmt, gleiche Teile der Thomaschen und der von Loewit angegebenen Lösung zu mischen und mit dem Gemisch die Verdünnung vorzunehmen. Die Loewitsche Lösung ist eine 1 %-ige Kochsalzlösung, welche mit etwas Gentianaviolett gefärbt ist. A. Pappenheim[4]) empfiehlt als Mischflüssigkeit 5 %-ige Essigsäure mit einem Zusatz von 0,025—0,03 g Methylgrün oder Vesuvin auf 250 ccm der verdünnten Säure. Die 0,3 oder 0,5 %-ige Essigsäure sei zu schwach, die roten Blutkörperchen werden in ihr nicht völlig aufgelöst und verhindern zusammen mit Gerinnseln die gleichmäßige Verteilung der Leukozyten.

Bei der Auszählung ging Reinert so vor, daß er von den am Rande gelegenen Leukozyten diejenigen dem Gesichtsfelde zuzählte, welche, auf der oberen Hälfte des begrenzenden Kreises liegend, in das Gesichtsfeld hineinragten, während er die auf der unteren Hälfte befindlichen unberücksichtigt ließ. Es erwies sich ferner als vorteilhaft, das Resultat der Zählung einer zweiten Person zu diktieren, welche es in ein nach Form der Kammerteilung liniertes Blatt Papier eintrug. Reinert[5]) fand bei sich selbst an verschiedenen Tagen zu denselben Tageszeiten unter Berücksichtigung von 6—8000 Zellen den mittleren prozentischen Fehler zu 11,6, den wahrscheinlichen zu 7,8. Sehr eingehend behandelt R. Kjer-Petersen[6]) die Leuko-

1) R. Thoma, Lit.-Verzeichnis 1882, 1, S. 208.
2) E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 13, 37, 41 und 42.
3) N. Heyl, Lit.-Verzeichnis 1882, 2, S. 22.
4) A. Pappenheim, Lit.-Verzeichnis 1911, 6, S. 237.
5) Seite 59 seiner Arbeit.
6) R. Kjer-Petersen, Lit.-Verzeichnis 1906, 12.

zytenzählung nach der Thomaschen Methode und die ihr anhaftenden Fehler. Die von Kjer-Petersen behauptete Inhomogenität des Blutes in bezug auf Leukozyten wird von A. v. Bonsdorff[1]) streng zurückgewiesen.

Verfasser hat an der Thomaschen Methode auszusetzen, daß der Potainsche Melangeur, dem eine ganze Reihe früher (S. 43.) genannter Fehler anhaftet, zur Verdünnung benutzt wird. Im vorliegenden Falle ist die exakte Verdünnung noch dadurch erschwert, daß jedenfalls bei 10-facher Verdünnung der Teilstrich 11 oft schon erreicht ist, bevor alles Blut aus der Meßkapillare in die Ampulle übergetreten ist, wodurch die Verdünnung ganz ungenau wird. Auch die Verdünnungsflüssigkeit ist nicht ganz geeignet, weil in ihr die Blutplättchen zu ganzen Rasen agglutinieren und weiße Blutkörperchen dabei in größeren Mengen einschließen können, so daß deren gleichmäßige Verteilung gestört ist. Die Reinertsche Lösung bessert diese Verhältnisse etwas, aber auch in ihr sind die Blutplättchen zu Häufchen, wenn auch kleineren, agglutiniert. Die Pappenheimsche Lösung stellt keine Verbesserung dar, denn in ihr entstehen gar Eiweißniederschläge.


Fig. 67.
Netzteilung nach R. Breuer.
(20 mal vergr.)

J. Zappert, A. Elzholz, W. Türk und R. Dunger haben nicht nach Gesichtsfeldern gezählt, sondern das Zählnetz der Thomaschen Kammer für die Leukozytenzählung, und zwar besonders für die Zählung der verschiedenen Arten von Leukozyten, vergrößert und auch die Netzteilung geändert, worüber später (S. 122 u. f.) genauer berichtet wird.

Um recht viele Leukozyten zählen zu können, hat R. Friedländer[2]) der Thoma-Zeißschen Kammer eine Tiefe von 0,222 mm erteilt und ein Zählnetz von $16 \times 16 = 256$ Quadraten zu je 0,09 qmm, im ganzen also von ca. 23 qmm anbringen lassen, was von großem Vorteil ist. Als Verdünnungsflüssigkeit benutzt Friedländer ein Gemisch von 1 Teil 1%-iger, mit Gentianaviolett intensiv gefärbter Kochsalzlösung und von 10 Teilen $^1/_3$%-iger Essigsäurelösung; mit diesem Gemisch wird das Blut 20-fach verdünnt[3]). Die Methode wird sehr günstig von Cuzzolini-Durati[4]) beurteilt.

Eines 9 qmm umfassenden Zählnetzes, das in 36 Rechtecke von

1) A. v. Bonsdorff, Lit.-Verzeichnis 1912, 15.
2) R. Friedländer, Lit.-Verzeichnis 1897, 5.
3) Der Apparat wird von der optischen Werkstätte C. Zeiß in Jena hergestellt.
4) Cuzzolini-Durati, Lit.-Verzeichnis 1906, 4.

$\frac{1}{4}$ qmm geteilt ist, hat sich R. Breuer[1]) in der Thoma-Zeißschen Kammer bedient. Der mittlere Quadradmillimeter kann auch noch, wie dies Figur 67 zeigt, mit der Netzteilung der Thoma-Zeißschen Kammer versehen sein.

Das Zählnetz von Neubauer[2]) ist in Figur 68 abgebildet, auf dem mittleren Quadratmillimeter können die Erythrozyten gezählt werden. Ein Zählnetz ähnlich dem, welches Verfasser in seiner Zählkammer verwendet (S. 58), hat später auch C. E. Simon benutzt[3]). Einer Zählkammer mit sogar 100 qmm Zählfläche und $^1/_2$ oder 1 mm Kammerhöhe bedient sich Nageotte[4]).

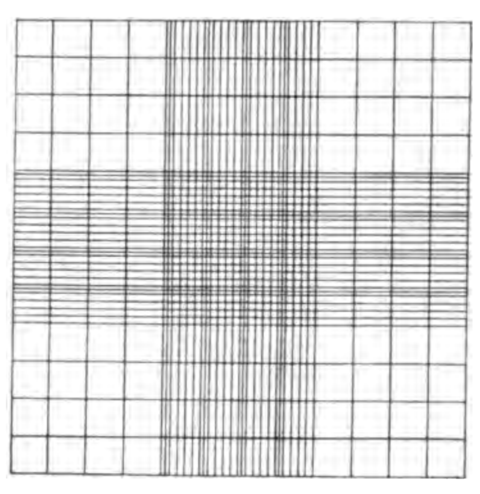


Fig. 68.
Zählnetz nach Neubauer.
(20 mal vergr.)

Ungleichmäßige Zählnetze mit Anhäufung von Teilstrichen an einer Stelle sind zu vermeiden (S. 42).

Die früher (S. 44 u. f.) erwähnten, von R. May, H. Hirschfeld, J. Portmann, G. Galli, Koch, A. Pappenheim und W. Roerdansz verbesserten Mischpipetten können auch für Verdünnungen, wie sie zur Zählung der Leukozyten erforderlich sind, geliefert werden. Von der optischen Werkstätte C. Zeiß in Jena wird auch die Thoma-Zeißsche Pipette nach Angaben von Rieder für Verdünnungen des Blutes von 1:20 und 1:40 angefertigt.

5. Die zweite Methode von L. Malassez mit dem Compte-globules à chambre humide graduée (1880)[5]).

Die Methode zur Zählung der Leukozyten ist die gleiche wie die, welche Malassez zur Zählung der Erythrozyten angegeben hat (S. 51). Bei $\frac{1}{5}$ mm Kammerhöhe und bei 100-facher Verdünnung sollen 10, bei $\frac{1}{10}$ mm Kammerhöhe und der gleichen Verdünnung 20 Rechtecke ausgezählt werden, worauf man nur 3 Nullen an die gefundene Zahl zu hängen hat, um die Anzahl der in 1 cmm vorhandenen Leukozyten zu erhalten.

Da bei dieser Art der Zählung nur sehr wenig Leukozyten wirklich

1) R. Breuer, Lit.-Verzeichnis 1902, 3, S. 954 und Katalog der optischen Werkstätte von C. Zeiß in Jena, welche den Apparat liefert.

2) Die Zählkammer ist von den optischen und mechanischen Werken von E. Leitz in Wetzlar zu beziehen.

3) C. E. Simon, Lit.-Verzeichnis 1906, 6.

4) Der Apparat wird von E. Cogit u. Cie, Paris, Boulevard St.-Michel 36, geliefert.

5) L. Malassez, Lit.-Verzeichnis 1880, 3, S. 411 und Katalog von M. Stiassnie, Paris, Boulevard Raspail 204.

gezählt werden, so kann die Methode nur sehr ungenau sein, die Zählung muß sich auf viel mehr Rechtecke erstrecken; in dem Katalog von M. Stiassnie wird Seite 71 erwähnt, daß die Zählung auch in den nicht geteilten Rechtecken vorgenommen werden soll. Da ferner die Leukozyten neben den Erythrozyten nicht besonders hervorgehoben werden, ist auch ihre Erkennung erschwert.

Eine besondere Methode zur Zählung der Leukozyten hat S. Alferow (S. 52 dieses Handbuches) nicht ausgearbeitet, er erwähnt nur, daß sich in seiner Kammer die weißen Blutkörperchen von den roten beim Heben des Mikroskoptubus unterscheiden lassen[1]).

6. Die Methode von M. Einhorn und G. L. Laporte (1902)[2]).

Die Methode entspricht der, welche die Autoren zur Zählung der Erythrozyten verwendet haben (S. 54). Die vergleichenden Zählungen der Leukozyten im Trockenpräparate und in der Thoma-Zeißschen Zählkammer ergaben, daß die Zahl der in 1 qmm des Trockenpräparates vorhandenen Leukozyten sich zu der in 1 cmm Blut berechneten durchschnittlich wie 1:400 verhält. Mit dem Koeffizienten 400 muß also die Zahl der auf 1 qmm Trockenpräparat fallenden Leukozyten multipliziert werden, um den Gehalt von 1 cmm Blut zu finden. Warum der Koeffizient für Leukozyten kleiner als für Erythrozyten ist, während er doch gleich sein sollte, erörtern die Verfasser auf Seite 423 ihrer Arbeit.

Werden nun z. B. in 26 Gesichtsfeldern entsprechend 6 qmm 416 Leukozyten gefunden, dann sind in 1 cmm Blut $\frac{416 \cdot 400}{6} = 27733$ anzunehmen.

Dieselben Einwände, welche gegen die analoge Methode zur Zählung der Erythrozyten erhoben wurden (S. 54), gelten auch hier.

Leukozytenzählungen hat W. Brünings mit seinem, zunächst nur für rote Blutkörperchen bestimmten Zählapparate (S. 54) nicht vorgenommen.

7. Die Methode von M. Loewenberg (1908)[3]).

In analoger Weise wie die roten (S. 56) zählt Loewenberg die weißen Blutkörperchen. Er mißt 2,5 cmm Blut mit einer Pipette auf einen Objektträger ab, gibt 10 cmm einer 3%-igen Essigsäurelösung hinzu und rührt mit einer spitzen Nadel die beiden Flüssigkeiten so lange durch, bis eine gleichmäßige Mischung eingetreten ist, worauf mit dem Deckglas von 20 mm Durchmesser bedeckt wird. Dann werden in einer Reihe von Gesichtsfeldern die Leukozyten gezählt und die Durchschnittszahl für ein Gesichtsfeld ermittelt. Beträgt diese Zahl n, dann sind in 1 cmm Blut $\frac{n \cdot 2500}{2,5} = n \cdot 1000$ enthalten.

1) S. Alferow, Lit.-Verzeichnis 1884, 1, S. 278.
2) M. Einhorn und G. L. Laporte, Lit.-Verzeichnis 1902, 4
3) M. Loewenberg, Lit.-Verzeichnis 1908, 3, S. 512.

Die Voraussetzungen, welche bei dieser Methode erfüllt sein müssen, wurden schon früher (S. 57) erörtert.

8. Die Methode von K. Bürker (1905—1912)[1]).

Bei der Zählung der Leukozyten muß darauf Rücksicht genommen werden, daß diese Gebilde etwa doppelt so groß als die Erythrozyten sein können, die Höhe der Zählkammer muß daher der Größe der Leukozyten angepaßt sein, wie diese Anpassung auch schon für die großen Erythrozyten verlangt wurde (S. 76).

Bei der Zählkammer von Bürker (S. 57) wird diese Anpassung dadurch erreicht, daß ein mit einem 0,100 mm tiefen Einschliff versehenes Deckglas aufgelegt wird, so daß die Kammerhöhe jetzt 0,200 mm beträgt, also doppelt so groß ist als bei Zählung roter Blutkörperchen. Die Leukozyten werden in den großen Quadraten des Zählnetzes (Fig. 40, S. 58) von $\frac{16}{400} = \frac{1}{25}$ qmm gezählt (in der Figur bei der 20 fachen Vergrößerung 16 qmm groß), welche durch die Rechtecke von $\frac{4}{400}$ qmm (in der Figur 4 qmm groß) voneinander getrennt sind; 144 solcher Quadrate stehen auf jeder Zählfläche zur Verfügung. Statt des Zählnetzes können auch entsprechende Blenden im Okular Verwendung finden.

Die Pipette zur Abmessung von 25 cmm Blut ist die gleiche, wie sie früher (S. 59) beschrieben wurde. Die Pipette zur Abmessung der Verdünnungsflüssigkeit ist für 475 cmm Verdünnungsflüssigkeit geeicht, so daß also, wenn 25 cmm Blut zugefügt werden, die Verdünnung eine 20-fache ist. Zur Verdünnung wird $^1/_3$%-ige Eisessiglösung oder besser Türksche Lösung (S. 125), die allerdings noch nicht allen Anforderungen genügen, benutzt. Das Rundkölbchen zur Mischung von Blut und Verdünnungsflüssigkeit ist wesentlich kleiner. Die Übertragungspipetten sind die gleichen.

Das Schema zum Eintragen des Zählresultates ist in Figur 69 (S. 112) abgebildet. In das Schema sind nur die großen Quadrate des Zählnetzes (Fig. 40, S. 58) von $\frac{1}{25}$ qmm, in welchen eben die Leukozyten gezählt werden, übertragen, die dazwischenliegenden kleinen Quadrate und Rechtecke sind zu dünnen und dicken Strichen vereinigt. Die dicken Striche trennen, wie die auf der Zählfläche befindlichen besonders markierten kleinen Quadrate und Rechtecke, Gruppen von 16 großen Quadraten voneinander. Die Zahlen des Schemas dienen zur Numerierung der Transversal- und Sagittalreihen, die Pfeile deuten die Richtung an, in welcher die Zählkammer verschoben werden soll, um die einzelnen Quadrate der Reihe nach ins Gesichtsfeld zu bekommen.

Die Art der Füllung und Auszählung der Kammer ist im Prinzipe die gleiche wie bei Zählung roter Blutkörperchen, nur hat man zu beachten, daß Leukozyten leicht an der Unterseite des Deckglases hängen bleiben, man muß abso den Tubus des Mikroskopes tief und hoch einstellen.

1) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1905, 6, S. 446 und 450, 1907, 5, S. 465 und 1911, 5.

Da der Raum über einem großen Quadrate $\frac{1}{125}$ cmm beträgt, so zählt man zweckmäßig 125 Quadrate in der einen und ebenso viele in der anderen Abteilung der Zählkammer; man hat dann nur die Gesamtsumme mit 10 zu multiplizieren, um die Zahl der Leukozyten in 1 cmm Blut zu erhalten. Für genauere Zählungen füllt man die Kammer ein zweites Mal und zählt nochmals in beiden Abteilungen, für weniger genaue genügt die Zählung in 62 Quadraten der einen und 63 Quadraten der andern Abteilung, worauf man die gefundene Gesamtzahl nur mit 20 zu multiplizieren

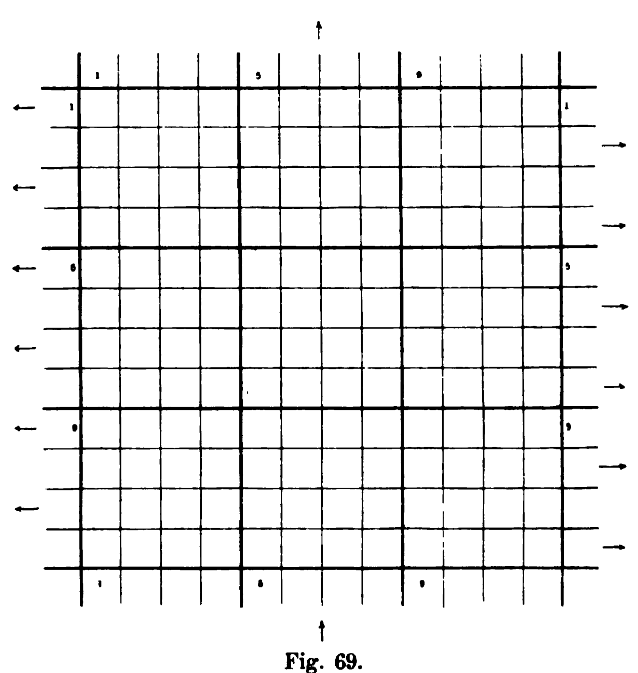


Fig. 69.
Schema zum Eintragen des Zählresultates bei Zählung weißer Blutkörperchen nach K. Bürker (2/3 natürl. Größe).

hat, um auf die Zahl für 1 cmm Blut zu kommen. Beim Anschreiben der Zahl sollte man auch hier vermeiden, mehr Stellen anzugeben, als sicher sind, statt z. B. 8122 sollte das Resultat 8,12 Tausend lauten.

Von großem Vorteil sind auch hier die Kontrollzählungen in beiden Abteilungen der Kammer bei ein und derselben Deckglasauflage.

9. Die Methode von Hayem-Sahli (1909)[1].

Die Methode unterscheidet sich von der für rote Blutkörperchen angegebenen (S. 69) nur dadurch, daß mehr Blut und eine andere Verdünnungsflüssigkeit (1/3 %-ige wäßrige Eisessiglösung oder Türksche Lösung

1) H. Sahli, Lit.-Verzeichnis 1909, 6, S. 862 und S. 11 des Prospektes der optischen und mechanischen Werke von E. Leitz, Wetzlar, welche den Apparat liefern.

S. 125) zur Verwendung kommt, und daß die Verdünnung nur eine 21-fache ist.

Mit der weiß bezeichneten Pipette für die Verdünnungsflüssigkeit (Fig. 45, S. 70) werden zunächst 500 cmm in das entsprechende Glaströgchen (Fig. 47, S. 70) abgemessen und mit der in Figur 70 abgebildeten, gleichfalls weiß bezeichneten Blutpipette 25 cmm Blut zugefügt, worauf gemischt wird. Die Füllung der Zählkammer geschieht in der gleichen Weise wie bei Zählung roter Blutkörperchen. Um eine genügende Genauigkeit zu erzielen, muß man im ganzen wenigstens 300 Leukozyten zählen. Man geht also eine größere Zahl von Zähleinheiten (großen Quadraten) durch,

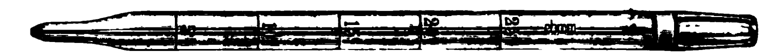


Fig. 70.
Blutpipette nach H. Sahli.

am besten unter Verwendung des verschiebbaren Objekttisches mit der automatischen Einschnappvorrichtung, schreibt die Zahlen für jede Zähleinheit untereinander, bis die Summe wenigstens 300 beträgt, und berechnet daraus die Mittelzahl für eine Zähleinheit. Dann multipliziert man diese Zahl, vorausgesetzt, daß die Kammertiefe $\frac{1}{5}$ mm betrug, mit 2625, um auf den Gehalt von 1 cmm Blut zu kommen, oder kann auch den Gehalt direkt aus einer beigegebenen Tabelle ablesen.

Bei der Zählung von nur 300 Leukozyten wird man keine allzu große Genauigkeit erwarten dürfen. Auch muß gegen die Verdünnungsflüssigkeit in Übereinstimmung mit dem früher (S. 107) Gesagten eingewendet werden, daß sie noch nicht allen Anforderungen entspricht.

10. Die Methode von V. Ellermann und A. Erlandsen (1910)[1].)

Das Prinzip der Methode ist folgendes.

Eine bestimmte Menge bestimmt verdünnten Blutes wird auf einer Zählfläche von gegebener Größe ausgebreitet, eingetrocknet, fixiert und gefärbt. Dann wird in einer Reihe von Gesichtsfeldern gezählt, worauf sich unter Berücksichtigung der Größe des Gesichtsfeldes durch eine einfache Rechnung der Gehalt in 1 cmm Blut ergibt. Der ganze Apparat ist in Figur 71 (S. 114) abgebildet.

Mit der Pipette a werden 475 cmm nicht zu alter Verdünnungsflüssigkeit, bestehend aus

$\frac{n}{10}$ HCl	45 ccm
0,9 %-ige NaCl-Lösung	45 „
Formalin	10 „ ,

in das Mischgefäß c abgemessen, 25 cmm Blut mit der Pipette b zugefügt und nach Verschluß des Gefäßes mit Hilfe eines Glaskügelchens gemischt. Die braune Blutmischung ist mehrere Tage haltbar.

1) V. Ellermann und A. Erlandsen, Lit.-Verzeichnis 1910, 2, S. 248.

Von dieser Mischung werden am folgenden oder nachfolgenden Tage 10 cmm mit Pipette b auf die Zählfläche d übertragen, welche auf einem Objektträger durch einen eingeritzten Kreis von 20 mm Durchmesser begrenzt ist. Man kann sich auch mit einem kleinen Kautschukstempel und schwarzer Glastinte einen Kreis von der genannten Größe auf einen Objektträger stempeln; der Objektträger wird dann vor dem Stempeln mit ein wenig Albuminglyzerin bestrichen. Nach der Übertragung der Blutmischung wird diese mit einer steifen, hakenförmig gebogenen Platinnadel (Impfnadel) möglichst gleichmäßig und genau dem Umkreis folgend ausgebreitet. Nach dem Antrocknen wird in der Flamme fixiert und mit einem ad hoc bereiteten Gemisch von 1 %-iger wäßriger Methylenblaulösung und 0,2%-iger NaOH-Lösung zu gleichen Teilen 1 Minute lang gefärbt, worauf das Präparat abgespült und dann in Wasser gelegt wird, bis die Farbe schwach hellblau ist (2 bis 5 Minuten). Nach erfolgter Lufttrocknung wird in Zedernöl untersucht.

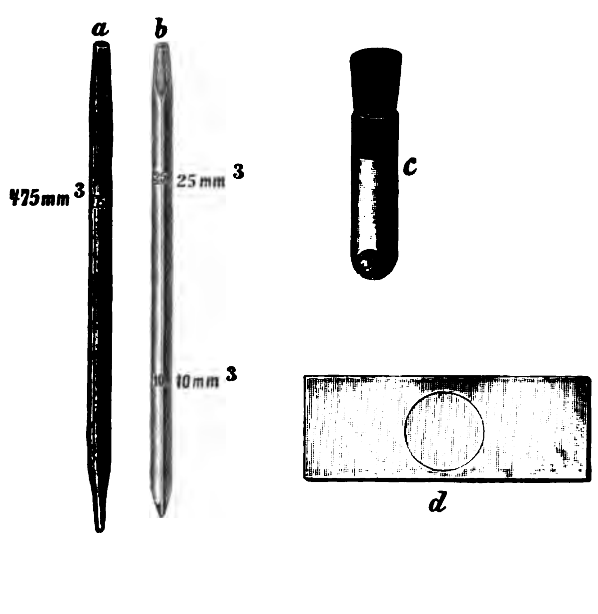




Fig. 71.
Apparat zur Zählung weißer Blutkörperchen nach V. Ellermann und A. Erlandsen.

Gezählt wird bei 200-facher Vergrößerung in zwei zueinander senkrechten Durchmessern der Zählfläche, eventuell noch in der Richtung paralleler Sehnen. Zweckmäßig richtet man es so ein, daß das Gesichtsfeld einen Durchmesser von 0,4 mm aufweist; dann verhält sich das Gesichtsfeld zur Zählfläche wie 1:2500. Zählt man jetzt in 100 Gesichtsfeldern p Leukozyten, so sind in 1 cmm Blut

$$\frac{p \cdot 2500 \cdot 20}{100 \cdot 10} = 50\,p$$

Leukozyten enthalten. Bei normalem Blut ist p etwa 150.

Nach der Prüfung der Autoren ist die Methode mit einem Fehler von etwa 5 % behaftet.

11. Die Methode von W. Geissler (1911)[1].

Sollen die Leukozyten nach der Methode von Geissler analog wie die Erythrozyten (S. 72) gezählt werden, so werden 10 cmm Blut in 50 ccm Kochsalzlösung gebracht und nach der Mischung 20 cmm des Gemisches auf der Zählfläche ausgebreitet, worauf getrocknet und gefärbt wird. Die innerhalb des Fleckes gezählten Leukozyten sind mit 250[2]) zu multiplizieren, um die Zahl für 1 cmm Blut zu finden.

Da bei dieser Art der Zählung nur 25—45 Leukozyten zur Zählung gelangen, kann die Genauigkeit nur eine sehr geringe sein.

Nach der Methode von P. v. Grützner[3]) werden die Leukozyten nicht wie die Erythrozyten mit Hilfe einer besonderen Blende gezählt (S. 73), sondern ganz wie nach Thoma (S. 106) in Gesichtsfeldern des Mikroskops.

Die früher (S. 74) erwähnte Tojbinsche Zählmaschine „Cytax" kann auch bei Leukozytenzählungen Verwendung finden.[4])

Über die Ermittlung des Zytenquotienten Erythrozytenzahl: Leukozytenzahl in 1 cmm Blut siehe Seite 75.

B. Zählung der Leukozyten mit Rücksicht auf die Art.

Da auch die Leukozyten des Menschen und der Tiere wie die Erythrozyten nach Größe, Form und Inhalt verschieden sind, so muß bei der Zählung dieser Gebilde nach den im Abschnitt A (S. 104) geschilderten Methoden auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden[5]). Es muß daher die Weite der Blutpipette, die Höhe der Zählkammer und die Art des Zählnetzes mit der Größe und Zahl der Leukozyten in eine solche Beziehung gebracht werden, daß die gleichmäßige Verteilung dieser Gebilde auf der Zählfläche möglichst wenig beeinträchtigt wird und daß ferner die genügende Zahl von Zellen auf die Zähleinheit fällt, Forderungen, welche auch schon für die Zählung der Erythrozyten aufgestellt wurden (S. 76).

Genauere vergleichende Messungen der Größe der Leukozyten verschiedener Blutarten, mit einheitlicher Methodik durchgeführt, liegen nicht vor. Für die Leukozyten des menschlichen Blutes sind die Werte ziemlich genau bekannt, für die Leukozyten der verschiedenen Tiere lassen sich die Werte leicht durch Vergleich mit der Größe der Erythrozyten ab-

---

1) W. Geissler, Lit.-Verzeichnis 1911, 8, S. 2328.

2) Im Original steht fälschlich $\frac{10000}{4}$.

3) P. v. Grützner, Lit.-Verzeichnis 1912, 7, S. 756.

4) Über eine ganze Reihe von Momenten, welche Einfluß auf die Leukozytenzahl und Leukozytenart haben, berichten E. Reinert, Lit.-Verzeichnis 1891, 1, S. 72 und 126, H. Rieder, Lit.-Verzeichnis 1892, 3, A. Goldscheider und P. Jacob, Lit.-Verzeichnis 1894, 1, und die Lehrbücher der klinischen Hämatologie.

5) Über Morphologie der Leukozyten, Vergleichend-Anatomisches und Historisches siehe die S. 3, Anm. 1 zitierten Arbeiten. Allgemein Histologisches über den Zellkern überhaupt, über Nukleolen und die Granulalehre siehe bei M. Heidenhain, Lit.-Verzeichnis 1907, 10.

leiten, wenn man sich vor allem der Abbildungen von C. Klieneberger und W. Carl[1]) bedient. In demselben Werke, bei O. Naegeli[2]) und M. Bethe[3]) findet man auch Angaben über die Zahl der Leukozyten im Blute verschiedener Tiere.

Auch die Wahl der Verdünnungsflüssigkeit wird von der Blutart abhängig sein müssen. Hier ergibt sich gleich eine Komplikation; löst man im Blute von Tieren, welche kernhaltige rote Blutkörperchen besitzen, diese auf, um die Leukozyten besser zählen zu können, so fällt jetzt die Unterscheidung von den Erythrozytenkernen recht schwer. Durch Benutzung färbender Verdünnungsflüssigkeiten muß man eine Differenzierung herbeizuführen suchen oder im Trockenpräparate zählen.

Um die Differentialzählung in ein und demselben Blute vornehmen zu können, seien die wesentlichen Merkmale zur Unterscheidung der verschiedenen Arten von Leukozyten zusammengestellt. Vorher sei aber erwähnt, wie die Leukozyten aus einem Tropfen Blut in größerer Zahl zur Beobachtung gelangen können.

Man kann sich die Leukozyten im Blute anreichern, sie zugleich weniger belästigt von den überwiegenden Erythrozyten beobachten und sie doch in ihrer normalen Suspensionsflüssigkeit, dem Plasma, untersuchen, wenn man nach Verfasser[4]) folgendermaßen verfährt. Man glättet ein Stück festes Paraffin, wie es zum Einbetten benutzt wird, läßt mehrere Tropfen rasch und frei ausfließenden Blutes getrennt auf die geglättete Fläche fallen und bringt Paraffin samt Tropfen in eine feuchte Kammer. In den Tropfen, welche bei sorgfältigem Verfahren nicht gerinnen, beginnt nun eine natürliche Trennung der spezifisch verschieden schweren körperlichen Elemente des Blutes. Die roten Blutkörperchen, als die schwersten Elemente, senken sich zu Boden, die weißen Blutkörperchen, als leichtere Elemente, viel weniger, sie werden vielmehr durch die roten in die höheren Schichten gedrängt, die Blutplättchen gar, als die leichtesten Elemente, sammeln sich in der Kuppe an. Hebt man nach etwa 10 Minuten die Kuppe eines der Tropfen mit einem Deckgläschen ab und stellt ein Nativ- oder gefärbtes Ausstrichpräparat her, so wird man die störenden Erythrozyten vermindert, die Leukozyten und besonders die Thrombozyten aber angereichert finden. Soll die Blutgerinnung auch ohne allzu vorsichtiges Verfahren sicher vermieden werden, so bringt man Körnchen von Hirudin vorher auf das Paraffin und läßt darauf die Blutstropfen fallen.

Die so leichter zu ermittelnden Merkmale betreffen nun die Größe und Gestalt der Zellen, die Größe und Gestalt des Kernes, seinen Chromatingehalt und seine Nukleolen, ferner die Größe und Gestalt des Protoplasmas, die morphologischen und chemischen Eigenschaften seiner Einschlüsse, besonders der Granulationen, und schließlich biologische Eigenschaften der Leukozyten wie amöboide Beweglichkeit und Phagozytose.

1) C. Klieneberger und W. Carl, Lit.-Verzeichnis 1912, 3.
2) O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1, S. 252.
3) M. Bethe, Lit.-Verzeichnis 1891, 4, S. 6.
4) K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1903, 5 und 1908, 6, S. 177.

Die folgenden Angaben beziehen sich insbesondere auf die Leukozyten des Menschen und der Säugetiere.

Die Lymphozyten oder kleinen mononukleären Leukozyten (Taf. II, Fig. A, 1) sind etwa so groß wie rote Blutkörperchen, die kleineren werden kleine, die größeren große Lymphozyten genannt. Der chromatinreiche, sich mit Kernfarbstoffen kräftig färbende Kern ist rund oder leicht oval, aber auch eingekerbt und enthält 1—2 Nukleolen. Das stark basophile, nur einen schmalen Saum darstellende Protoplasma zeigt bei Giemsafärbung in einem Drittel der Fälle eine wechselnde Zahl feiner, leuchtend roter Azurgranula, die aus dem hellblauen Protoplasma trotz ihrer geringen Größe deutlich hervortreten. Die von H. Schridde[1]) im Protoplasma der Lymphozyten dargestellten und für spezifisch erklärten fuchsinophilen Granula kommen nach O. Naegeli auch in Myeloblasten und Übergangsformen vor. In der nächsten Umgebung des Kerns ist das Protoplasma weniger gefärbt: perinukleärer heller Hof. Bei den größeren Lymphozyten, welche als ältere Formen aufgefaßt werden, färbt sich der Kern weniger intensiv, das Protoplasma ist breiter, die Zahl der Azurgranula größer. Chemisch unterscheiden sich die Lymphozyten von den anderen Leukozyten dadurch, daß sie keine oxydierenden und proteolytischen Fermente enthalten und daher auch nicht die Peroxydasen-, die Guajakreaktion und die Indophenolblausynthese geben. Ihre amöboiden und phagozytären Eigenschaften sind wenig entwickelt. Beim erwachsenen Menschen sind 20—25 % aller Leukozyten Lymphozyten, ihre absolute Zahl in 1 cmm Blut beträgt 1500—2000.

Die großen mononukleären Leukozyten und Übergangsformen (Taf. II, Fig. A, 2) stellen die größte Leukozytenart des normalen Blutes dar, Durchmesser im Mittel 10—20 μ. Der große, länglich ovale, auch nierenförmige oder noch stärker gelappte, manchmal wie gelocht aussehende Kern ist von reichlichem Protoplasma umgeben. Seine Affinität zu Kernfarbstoffen ist bei seiner Chromatinarmut viel geringer als bei den Lymphozyten. Nukleolen sind gewöhnlich nicht zu sehen, bei Vitalfärbung sind aber bis zu vier nachweisbar. Das bei Giemsafärbung basophile graublaue Protoplasma enthält eine äußerst feine, aber sehr reichliche neutrophile Granulation. Ein hellerer perinukleärer Hof ist nicht vorhanden, wohl aber sind Fermente zugegen, daher Indophenolblausynthese positiv. Amöboide Beweglichkeit und Phagozytose (Makrophagen) sind nachgewiesen. Die großen Mononukleären werden als jüngere, die Übergangsformen als ältere Individuen aufgefaßt, erstere machen 2 %, letztere 4—6 % der Leukozyten aus, absolute Zahl beider 500 in 1 cmm Blut.

Charakteristisch für die dritte Art von Leukozyten, die polymorphkernigen neutrophilen (Taf. II, Fig. A, 3) von 9—12 μ Größe, ist der lange, schmale, vielfach gewundene und an manchen Stellen stark eingeschnürte Kern. Diesen Leukozyt als polynukleär zu bezeichnen, wie es vielfach geschieht, ist nicht richtig, da die scheinbar getrennten Kerne doch alle durch

1) H. Schridde und O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1910, 1, S. 63 und 97; dort findet man auch in Figur 16 der Tafel die fuchsinophilen Granula abgebildet. Siehe auch O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1, S. 174.

Kernsubstanz miteinander vereinigt sind. Kernfarbstoffe färben den Kern bei seinem Chromatinreichtum stark, Nukleolen hat der sehr erfahrene Naegeli bisher nicht beobachtet. Das Protoplasma ist im Gegensatz zu dem der bisher genannten Leukozytenarten oxyphil und enthält eine feine, schwach lichtbrechende neutrophile Granulation, P. Ehrlichs[1]) ε-Granulation. Diese Leukozyten stellen das amöboid beweglichste Element des Blutes dar, zeigen ausgesprochene Phagozytose (Mikrophagen), sind Träger von Antitoxinen, peptischen, autolytischen und oxydierenden Fermenten und enthalten jodophile Substanzen. An Zahl übertreffen sie alle übrigen Leukozytenarten; 65—70 % der Leukozyten oder 4500—5000 in 1 cmm Blut sind neutrophile.

Nicht immer ganz leicht von den polymorphkernigen neutrophilen sind die meist etwas größeren polymorphkernigen azido- oder eosinophilen Leukozyten (Taf. II, Fig. A, 4) zu unterscheiden, wenigstens im gefärbten Präparat. Die genauere Untersuchung ergibt aber, daß der Kern plumper, weniger polymorph ist — meist setzen ihn nur 2 oder 3 Kernstücke zusammen — und daß die das ganze Protoplasma ausfüllende Granulation viel gröber, stärker lichtbrechend und dabei azido- bzw. eosinophil ist. Diese weder aus Fett noch Hämoglobin bestehende, aber angeblich eisenhaltige[2]) Granulation wurde von P. Ehrlich[3]) α-Granulation genannt, die schwächer eosinophile und wasserreichere β-Granulation wurde von Ehrlich als unreife α-Granulation aufgefaßt; da diese sich auch mit basischen Farbstoffen tingiert, wird sie auch amphophil genannt. Die β-Granulation kommt im Knochenmark und in vielen Leukozyten des Kaninchens und Meerschweinchens vor. Nukleolen sollen im Kerne nicht nachweisbar sein, auch jodophile Substanzen im Protoplasma sind selten, dagegen enthalten diese Leukozyten oxydierende Fermente. Von den Gesamtleukozyten sind 2—4 %, also rund 200 in 1 cmm Blut, eosinophile.

Bei manchen Tieren (Katzen, Kaninchen, Vögel) sind an Stelle der eosinophilen Körnchen eosinophile Stäbchen (Taf. III, Fig. B, 7) im Protoplasma enthalten. Außer der eosinophilen gibt es auch noch eine pseudoeosinophile Granulation (Kaninchen, Meerschweinchen, Vogel), welche der neutrophilen bei andern Tieren entspricht; die pseudoeosinophile Granulation ist im Gegensatz zur eosinophilen feiner und ferner leicht in säurehaltigen Lösungen löslich. Von geradezu immenser Größe sind die Granula eosinophiler Leukozyten vom Pferde (Semmersche Körnerkugeln)[4]).

Die fünfte und letzte Art von Leukozyten, welche normal im Blute vorkommt, sind die basophilen polymorphkernigen Leukozyten oder Mastzellen (Taf. II, Fig. A, 5). Diese Art ist die kleinste der polymorphkernigen Leukozyten, nur 8—10 μ groß, und tritt auch an Zahl gegenüber allen andern zurück, es sind nur 0,5 % der Leukozyten und nur etwa 350 in 1 cmm Blut. Der relativ große, eigenartige, wulstige Kern und die grobe, wasser-

1) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6, S. 48.

2) L. F. Barker, Lit.-Verzeichnis 1894, 2 und E. Petry, Lit.-Verzeichnis 1912, 17.

3) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1879, 1, S. 577 und 1891, 6, S. 14 und 75; über Form und Eigenschaften der eosinophilen Körnung siehe ebenda S. 90.

4) Über diese siehe C. Laker, Lit.-Verzeichnis 1886, 1, S. 27 und H. Hirschfeld, Lit.-Verzeichnis 1897, 6, S. 22.

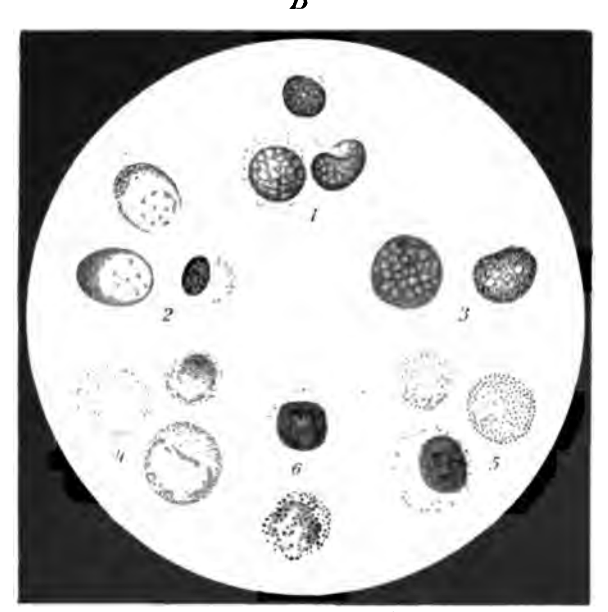
A



1. Lymphozyten
2. Großer mononukleärer Leukozyt u. Übergangsformen
3. Neutrophile Leukozyten
4. Eosinophile Leukozyten
5. Basophile Leukozyten
Zu S. 117 u. 118

Nach Abbildungen von O. Naegeli und K. Schleip kombiniert. (Verschiedene Färbungen)

B



1. Lymphoblasten
2. Plasmazellen
3. Myeloblasten
4. Neutrophile Myelozyten
5. Eosinophile Myelozyten
6. Basophile Myelozyten
Zu S. 119 u. 120

Bürker.

lösliche, in das überwiegend oxyphile Protoplasma eingebettete, sich bei Giemsafärbung meist metachromatisch rotviolett („malvenfarben" nach Naegeli) färbende basophile Granulation ist typisch für diese Leukozytenart. P. Ehrlich[1]) hat diese Granulation γ-Granulation genannt. Nukleolen sind nur bei Vitalfärbung beobachtet worden. Wird in wasserhaltigen Farbstofflösungen gefärbt, so kommen die Granula, da sie wasserlöslich sind, verklumpt oder verschwommen zur Darstellung, sie können auch ganz ausgewaschen sein, so daß entsprechende Lücken im Protoplasma entstehen: negative Granulation. Auch diese Leukozyten enthalten oxydierende Fermente und sind amöboid beweglich. Ob diese Leukozytenart phagozytäre Eigenschaften besitzt, ist nicht genügend untersucht.

Bei infektiösen und eitrigen Prozessen können die Leukozyten des Blutes eine Fettmetamorphose erleiden[2]).

Zu diesen normal im Blute kreisenden Leukozyten, von welchen die Lymphozyten dem lymphatischen, alle übrigen dem myeloischen Gewebe entstammen, kommen bei abnormen Reizungszuständen der blutbildenden Organe die Vorstufen und verwandten Formen dieser Leukozyten.

Als pathologische Lymphozyten haben die zirkulierenden Vorstufen der normalen Lymphozyten, die im lymphatischen Gewebe vorhandenen Lymphoblasten (Taf. II, Fig. B, 1), zu gelten, die, wenn sie stark gelappte Kerne aufweisen, Riederformen genannt werden und die wie die übrigen Lymphozyten durch Mangel an peptischen und oxydierenden Fermenten gekennzeichnet sind. Der perinukleäre Hof und die Azurgranulation ist vorhanden, manchmal sind Vakuolen im Protoplasma nachweisbar.

Den Lymphozyten verwandt sind die besonders in der Submukosa des Darms sehr häufigen, im Blute sehr seltenen Plasmazellen (Taf. II, Fig. B, 2). Der Kern zeigt Radspeichenstruktur, das stark basophile Protoplasma ist bei Giemsafärbung intensiv blau, bei Pyronin-Methylgrünfärbung intensiv rot gefärbt, vakuolisiert und manchmal mit Azurgranula versehen. Ein perinukleärer Hof ist meist vorhanden. Durch den Kern, das stark basophile Protoplasma, die mangelnde neutrophile Granulation und durch die Vakuolen unterscheidet sich diese Form bei Giemsafärbung von den großen Mononukleären.

Vorstufen der polymorphkernigen neutrophilen, azidophilen und basophilen Leukozyten sind die einkernigen neutrophilen, azidophilen und basophilen Myelozyten (Taf. II, Fig. B, 4, 5, 6). Es sind große (10—20 μ) runde Zellen mit großem, rundem, ovalem oder auch etwas eingebuchtetem Kern, der sich nicht stark tingiert und bei Giemsafärbung mehrere blaue Nukleolen zeigt. Das leicht basophile Protoplasma enthält die entsprechende Granulation, die basophilen Granula sind aber nicht so sehr wasserlöslich. Je jugendlicher all diese Myelozyten sind, um so mehr neigt die Granulation der Basophilie zu, so daß z. B. in eosinophilen Myelozyten

1) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1891, 6, S. 45. Als δ-Granulation bezeichnet Ehrlich (S. 76) eine feine basophile Granulation, die namentlich in mononukleären Elementen des Menschenblutes vorkommt.

2) Durch Färbung mit Sudan III ist diese Metamorphose nachweisbar, siehe S. 1, Anm. 1.

neben der reifen, eosinophilen, roten Granulation auch noch eine unreife, basophile, blaue enthalten sein kann. Dieselben relativen Größenunterschiede, welche bei den verschiedenen Arten von polymorphkernigen Leukozyten bestehen, zeigen sich auch bei den verschiedenen Arten von Myelozyten. Wie alle Abkömmlinge des myeloischen Systems im Gegensatz zu denen des lymphatischen Fermente enthalten, so auch diese Myelozyten. Verwechslungen der neutrophilen Myelozyten mit den normalen großen Mononukleären sind möglich, nur sind bei letzteren die Granula feiner und bei Giemsafärbung keine blauen Nukleolen zu sehen.

Neigen die Myelozyten in ihrem ganzen Verhalten schon mehr den polymorphkernigen Leukozyten zu, so werden sie Metamyelozyten, stehen sie aber der ungranulierten Mutterzelle der Myelozyten, dem Myeloblasten, näher, so werden sie Promyelozyten genannt.

Die Myeloblasten (Naegeli) haben etwa die Form und Größe (12—20 μ) der Myelozyten, besonders der Promyelozyten; sie sind aber durch das Fehlen jeglicher Granulation im Protoplasma gekennzeichnet (Taf. II, Fig. B, 3). In dem sehr großen, fast die ganze Zelle ausfüllenden Kern ist die Anordnung des Chromatins eine regelmäßig netzförmige, Nukleolen sind 2—6 nachweisbar. Das Protoplasma ist stark basophil, fast stets sind oxydierende und proteolytische Fermente vorhanden, manchmal können sie aber auch fehlen. Von den großen Lymphozyten und Lymphoblasten unterscheiden sich die Myeloblasten dadurch, daß ihr Kern nicht grobbalkig ist, sondern die genannte netzförmige Struktur zeigt und mehr Nukleolen (2—6 statt 1—2) enthält, daß ferner ein perinukleärer Hof und Azurgranulation fehlt, und daß sie endlich fast stets oxydierende und proteolytische Fermente im Gegensatz zu den Lymphozyten enthalten. Eine gewisse Ähnlichkeit zwischen Myeloblasten und Lymphoblasten ist allerdings nicht zu verkennen. Im Gegensatz zu den großen Mononukleären besitzt der Myeloblast keine neutrophile Granulation, auch ist seine Kernstruktur eine andere und die Basophilie des Protoplasmas stärker ausgeprägt.

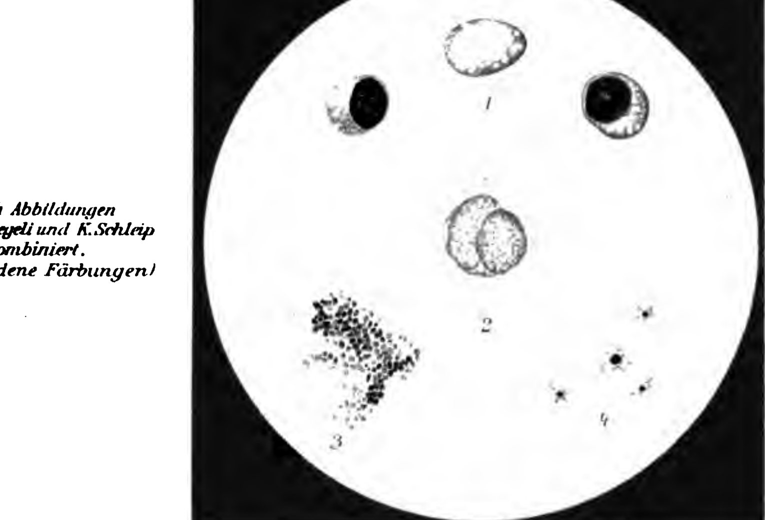
Als pathologische Myeloblasten sind die Türkschen Reizungsformen (Taf. III, Fig. A, 1) aufzufassen. Der Kern zeigt die zarte netzförmige Struktur, das sehr stark basophile granulationslose Protoplasma ist meist vakuolisiert. Von den Plasmazellen unterscheidet sie das Fehlen der Radspeichenstruktur des Kernes und das Fehlen eines perinukleären Hofes.

Als letzte Zellart sind die Knochenmarksriesenzellen, Megakaryozyten (Taf. III, Fig. A, 2), zu nennen; sie sind meist so groß, daß sie die Kapillaren nicht passieren können, daher sie für unsere Zwecke kaum in Betracht kommen.

Über die Leukozytenarten der Laboratoriumstiere ist insbesondere die Arbeit von C. Klieneberger und W. Carl[1]), über vergleichende Morphologie der Leukozyten die Arbeit von H. Hirschfeld[2]) nachzusehen; viel Literatur über vergleichende Anatomie und Histologie der Leukozyten und der Leukopoese teilt O. Naegeli[3]) mit, der auf

1) C. Klienberger, und W. Carl, Lit.-Verzeichnis 1912, 3.
2) H. Hirschfeld, Lit.-Verzeichnis 1897, 6.
3) O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1, S. 253.

A

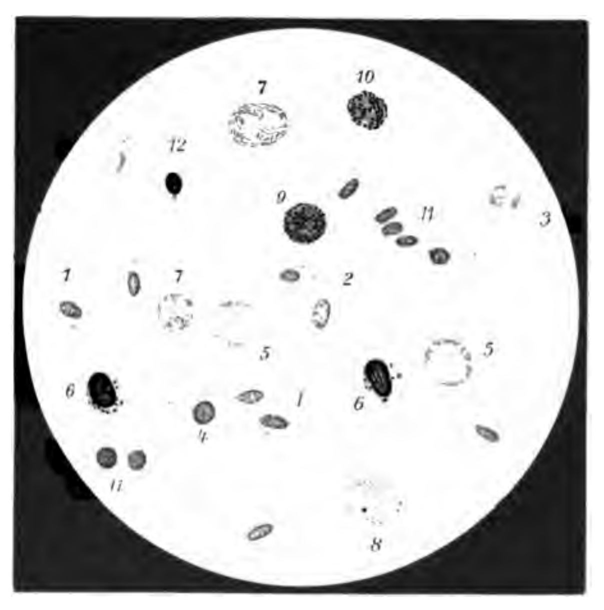


Nach Abbildungen von O. Naegeli und K. Schleip kombiniert. (Verschiedene Färbungen)

1. Reizungsformen (pathol. Myeloblasten)
2. Megakaryozyt
3. Thrombozyten ohne weiteres
4. Thrombozyten ausgebreitet

Zu S. 120 u. 136

B



Nach C. Klieneberger und W. Carl. (Verschiedene Färbungen)

Hühnerblut.

1. 2. Erythrozyten 2. polychromatophil 3. Schatten
4. 5. 6. Lymphozyten 7. Pseudoeosinophile Leukozyten
8. Eosinophiler Leukozyt 9. Basophiler Myelozyt
10. Basophiler Leukozyt 11. 12. Thrombozyten

Zu S. 118 u. 137

Bürker.

Verlag von S. Hirzel - Leipzig.

Seite 339 seines Buches auch eine sehr nützliche Übersicht über die nicht ganz einheitliche Nomenklatur gibt.

Wie bei den Erythrozyten so kann bei den Leukozyten die Differentialzählung im Nativpräparate, nach Vitalfärbung, in der Zählkammer und im Trockenpräparate vorgenommen werden, wobei man sich bewußt bleiben muß, daß bei den Leukozytenarten, welche ontogenetisch auseinander hervorgehen, fließende Übergänge bestehen[1]).

1. Schätzung der Leukozytenarten im Nativpräparat.

Zu einer vorläufigen Orientierung ist auch hier das Nativpräparat recht geeignet. Bei der Herstellung des Präparates verfährt man wie früher (S. 78) angegeben wurde, ganz besonders müssen aber Quetschungen bei der überragenden Größe der Leukozyten vermieden werden. Gelegentlich können allerdings Quetschungen insofern von Vorteil sein, als das Protoplasma der betreffenden Leukozyten durch den Druck des Deckglases zur Seite gedrängt und der Kern dadurch besser sichtbar wird. Die Tendenz zu ungleichmäßiger Verteilung ist bei den Leukozyten, welche leichter am Glase haften und Eigenbewegung zeigen, größer als bei den Erythrozyten. Abbildungen ungefärbter Leukozyten sind im Schleipschen Atlas[2]) enthalten.

Höhere Grade von Leukozytose und Leukopenie wird man insbesondere mit Rücksicht auf die Zahl der Erythrozyten wahrnehmen können; auch hier empfiehlt sich der Vergleich mit einem normalen Präparate. Die Lymphozyten sind an ihrer Kleinheit und der relativen Größe des Kerns kenntlich, die Mononukleären und Übergangsformen an ihrer Gesamtgröße, Kernform und feinen Granulation, wenn auch die Unterscheidung von Myelozyten Schwierigkeiten bereiten kann. Für die neutrophilen Leukozyten ist der polymorphe Kern und die feine Granulation charakteristisch. Am deutlichsten treten die eosinophilen Leukozyten durch die Größe und den starken Glanz ihrer Granula hervor. Der Glanz wird ganz besonders stark, wenn man, nachdem man das Mikroskop scharf auf den Rand der Zelle eingestellt hat, den Tubus mit Hilfe der Mikrometerschraube leicht hebt; die Granula sind „hebeglänzend", also stärker lichtbrechend als die Umgebung. Schwerer zu erkennen sind die kleinen Mastzellen, ihre grobe Granulation tritt als schwächer lichtbrechend nicht sehr hervor. Die Erkennung der Myelozyten und Myeloblasten wird nur hinsichtlich der großen Mononukleären und Übergangsformen Schwierigkeiten bereiten. Die Türkschen Reizungsformen und die Plasmazellen sind seltenere Gebilde, über deren Sein oder Nichtsein man sich besser im Trockenpräparat orientiert.

Wie bei den Erythrozyten so kann auch bei den Leukozyten die Untersuchung im Dunkelfelde mancherlei Vorteile bringen.

Da auch die Frage zu beantworten sein kann, wie viele der im Nativpräparate enthaltenen Leukozyten amöboide Bewegung zeigen, so wird man zur Herbeiführung der Bewegung das Präparat auf einem geheizten

1) Die bis zum Jahre 1892 geübten Methoden hat H. F. Müller in einem Referate zusammengefaßt, Lit.-Verzeichnis 1892, 2.

2) K. Schleip, Lit.-Verzeichnis 1907, 2.



Objekttisch auf Körpertemperatur erwärmen. Sehr stark ist unter diesen Umständen nach den Erfahrungen des Verfassers die amöboide Bewegung auf dem von H. Deetjen[1]) angegebenen Agarpräparate. Man löst 5 g Agar-Agar in 500 ccm dest. Wasser durch etwa halbstündiges Kochen, filtriert die heiße Flüssigkeit durch ein Faltenfilter und setzt zu 100 ccm Filtrat 0,6 g NaCl, 6—8 ccm einer 10%-igen Lösung von $NaPO_3$ (Merck) und 5 ccm einer 10%-igen Lösung von K_2HPO_4. Zur Untersuchung des Blutes wird ein wenig von der Agarlösung auf einen Objektträger ausgegossen und erstarren gelassen. Darauf schneidet man aus der erkalteten Masse einen etwa 2 mm breiten Streifen aus, auf den man das aus der Fingerspitze entnommene Bluttröpfchen bringt und mit einem Deckglas bedeckt.

Zum Studium der Phagozytose versetzt H. J. Hamburger[2]) das Blut mit feiner Knochenkohle und läßt 1 Stunde im Brutschrank bei 37° C stehen. Dann prüft man, ob die Leukozyten Kohlenteilchen aufgenommen haben, was in normalen Fällen bei etwa 8% der Leukozyten der Fall ist.

2. Schätzung der Leukozytenarten durch Vitalfärbung.

Es kommen dieselben Methoden zur Anwendung, welche schon früher (S. 80) beschrieben wurden. Vitalfärbung ist besonders zur Darstellung der Nukleolen geeignet. Nach den Erfahrungen des Verfassers gibt auch hier die Ruzickasche Methode sehr gute Resultate zur Unterscheidung lebender und toter Zellen, die Leukozyten, welche sich bei Anwendung dieser Methode rot färben und rot gefärbt bleiben, können auch noch nach Tagen auf einem geheizten Objekttisch zur amöboiden Bewegung veranlaßt werden, die blaugefärbten dagegen nicht. Ein Gemisch von Neutralrot und Methylenblau hat auch schon J. Arnold[3]) angewendet, der gleichfalls fand, daß vitalgefärbte Leukozyten amöboide Bewegung und Phagozytose zeigen.[4])

3. Zählung der Leukozytenarten in der Zählkammer.

Eine Methode zur Differentialzählung der Leukozyten in der Zählkammer hat zuerst Elzholz angegeben.

a. Die Methode von A. Elzholz (1894).[5])

Der Zählapparat ist der Thoma-Zeißsche (S. 20), nur daß das Zählnetz nach dem Vorgange von Zappert neun etwas verschieden geteilte Quadratmillimeter umfaßt (Fig. 72)[6]). Zur Verdünnung des Blutes und zugleich zur differenten Färbung seiner Leukozyten werden folgende Lösungen benutzt:

---

1) H. Deetjen, Lit.-Verzeichnis 1901, 3, S. 260.
2) H. J. Hamburger, Lit.-Verzeichnis 1902, 10, S. 400.
3) J. Arnold, Lit.-Verzeichnis 1899, 8, S. 426 und 429.
4) Über das Verhalten der Leukozyten bei der Vitalfärbung siehe Rosin und E. Bibergeil, Lit.-Verzeichnis 1904, 9.
5) A. Elzholz, Lit.-Verzeichnis 1894, 4, S. 588.
6) Neubauer hat die an den 4 Ecken des Zählnetzes gelegenen großen Quadrate noch in je 16 kleinere Quadrate teilen lassen, siehe S. 109 dieses Handbuches.

2%-ige wäßrige Eosinlösung	7,0	ccm
Glyzerin	45,0	„
Dest. Wasser	55,0	„

und

Dest. Wasser 15 ccm		
Konzentrierte wäßrige Gentianaviolettlösung	5—6	Tropfen
Absoluter Alkohol	1	„ .

Zu einer Zählung wird Blut bis zur Marke 1 oder ½ der Thoma-Zeißschen Mischpipette ein- und Glyzerineosinlösung bis zur Mitte des Mischgefäßes nachgesaugt, worauf 3—4 Minuten geschüttelt wird. Dann wird das Mischgefäß bis zur Marke 11 mit der Gentianaviolettlösung vollgefüllt, nochmals geschüttelt und die Mischung so lange in der Pipette belassen, bis die roten Blutkörperchen aufgelöst sind.

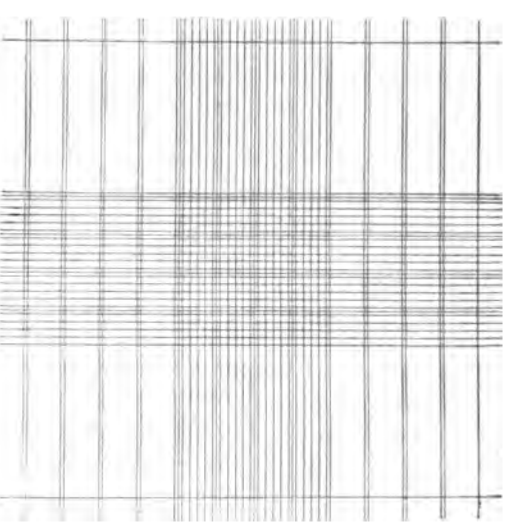


Fig. 72.
Netzteilung nach A. Elzholz.
(20 mal vergr.)

Nach Füllung der Zählkammer sollen fast alle normalen Leukozytenarten zu erkennen sein, nur die Unterscheidung der großen Lymphozyten von den Mononukleären und Übergangsformen soll Schwierigkeiten bereiten. Man zählt nun in der 1. Kolonne des Zählnetzes von oben nach unten, in der 2. von unten nach oben, in der dritten wieder von oben nach unten usw., bis man 8 Kolonnen, das sind 6 qmm, oder für genauere Zählungen, besonders der eosinophilen und basophilen Leukozyten, alle 12 Kolonnen, also 9 qmm, ausgezählt hat. Das Resultat ist z. B. im letzteren Falle mit $\frac{100}{9}$, wenn man 10-fach, mit $\frac{200}{9}$, wenn man 20-fach verdünnt hat, zu multiplizieren, um die Zellen für 1 cmm Blut zu erhalten. Man könnte so die absolute Zahl aller Leukozyten überhaupt als auch aller Arten ermitteln und das prozentische Verhältnis der einzelnen Arten dann berechnen.

Verfasser kann die Methode nicht empfehlen, weil die zweizeitige Füllung der Ampulle mit dazwischenliegender Mischung die exakte Verdünnung des Blutes erschwert, und weil, abgesehen von den eosinophilen Leukozyten, die übrigen Arten schwer zu erkennnn sind.. Störend wirkt auch, daß die Erythrozyten nur recht langsam aufgelöst werden.

Statt zweizeitig in der Mischpipette zu färben, hat R. Zollikofer die Färbung einzeitig hauptsächlich in der Kammer vorgenommen.

b. Die Methode von R. Zollikofer (1900)[1].

Man bereitet sich zunächst zwei getrennte Lösungen von

Eosin W.G.	0,05 g
Formalinlösung, konzentriert	1,0 „
Wasser, destilliert	100,0 „
und	
Methylenblau B.H.	0,05 „
Formalinlösung, konzentriert	1,0 „
Wasser, destilliert	100,0 „ .

Diese Lösungen werden filtriert und vor Verunreinigungen sorgfältig geschützt in 2 gleichen Tropfgläschen aus dunklem Glase aufbewahrt. Zum Gebrauche werden ungefähr gleiche Teile beider Lösungen gemischt, eventuell muß das richtige Mischungsverhältnis empirisch festgestellt werden.

Mit diesem Farbstoffgemisch wird das Blut in der Thoma-Zeißschen Pipette 20-fach verdünnt, dort 5 Minuten lang gemischt, worauf die Elzholzsche Zählkammer (S. 122) mit der Blutmischung beschickt wird. Die roten Blutkörperchen werden unsichtbar gemacht und die weißen färberisch differenziert. Während des Senkens der Leukozyten wird die Pipette wieder gereinigt.

Nach etwa 5 Minuten ist die Färbung, welche aber die basophilen Leukozyten nicht betrifft, soweit gediehen, daß die Zählung auf dem 9 qmm umfassenden Zählnetz beginnen kann. Das Zählresultat ist jeweils mit $\frac{200}{9}$ zu multiplizieren, um die absolute Zahl der Leukozyten überhaupt und der betreffenden Art für 1 cmm Blut zu finden.

Verfasser fand diese Methode etwas, aber nicht viel besser als die Elzholzsche. Da unter normalen Verhältnissen im ganzen nur etwa 300 Leukozyten gezählt werden, so muß die Zählung jedenfalls entsprechend oft wiederholt werden, um eine genügende Genauigkeit zu erzielen.

Mit den Farbstofflösungen kann auch ein durch Hitze fixiertes Trockenpräparat sukzessiv gefärbt werden, und zwar zuerst mit der Eosin- (einige Minuten lang), dann mit der fünffach durch Wasser verdünnten Methylenblaulösung ($^1/_2$ Minute lang), wodurch eine Kontrolle in differentialdiagnostischer Beziehung möglich ist. Diese Kontrolle, die in der Tat recht gut gelingt, ist aber auch sehr nötig.

Die Zollikofersche Methode hat W. Riebes[2]) dadurch modifiziert, daß er Blut bis zur Marke 1 ansaugte, die Methylenblaulösung für sich bis zu einem Strich, der die Hälfte des Ampullenvolumens angab, nachsaugte und 10 Sekunden später mit der Eosinlösung bis zur Marke 11 auffüllte. Dann wurde nach 4—5 Minuten langem Schütteln die Kammer gefüllt. Die roten Zellen sind dann vollständig zerstört, die weißen sollen dunkelblaue Kernfärbung, deutliche blauviolette neutrophile und sattrote eosinophile Granulation zeigen. Diese modifizierte Methode stellt keine wesentliche Verbesserung dar.

W. Türk[3]) zieht all diesen Methoden seine eigene vor.

1) R. Zollikofer, Lit.-Verzeichnis 1900, 2, S. 316.
2) W. Riebes, Lit.-Verzeichnis 1905. 9, S. 1488.
3) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 112 und 1912, 2, S. 18.

c. Die Methode von W. Türk (1902)[1].

Die Zählung geschieht wiederum im Prinzipe nach der Thoma-Zeißschen Methode (S. 20), das größere, 9 qmm umfassende Zählnetz ist in Figur 73 abgebildet.

Die Verdünnungsflüssigkeit besteht aus

Eisessig	3,0 ccm
Dest. Wasser	300,0 „
1 %-ige wäßrige Gentianaviolettlösung	3,0 „ .

Nimmt die Färbekraft dieser Lösung nach einiger Zeit ab, so fügt man 1 oder 2 Tropfen der Gentianaviolettlösung zu. Um den Farbstoff aus der Mischpipette zu beseitigen, muß 2mal mit absolutem Alkohol ausgespült werden.

Bei der Auszählung der gefüllten Kammer, die bei starker Beleuchtung zunächst ohne Rücksicht auf die Art erfolgt, geht Türk so vor, daß er die linke obere Ecke des Zählnetzes ins Gesichtsfeld stellt. Er wählt nunmehr als Zähleinheit den dem linken Rand entlang herablaufenden Streifen von $^5/_{20}$ mm Breite, welcher bequem in der Mitte des Gesichtsfeldes Platz findet (Zeiß Objektiv C, Okular 3, bei $\frac{4}{10}$ mm Deckglas Objektiv DD). Dann werden fortlaufend die ganzen drei Millimeter des Netzes herab gezählt, die Kammer um $^5/_{20}$ mm nach links verschoben, worauf in dem nächsten Streifen von $^5/_{20}$ mm Breite von unten nach oben, im dritten wieder von oben nach unten usw. gezählt wird. Erst wenn auf diese Weise das ganze linksseitige Drittel des Zählnetzes fortlaufend durchgezählt ist, wird die gefundene Zahl notiert, bei großer Zellenzahl auch früher. In der gleichen Weise wird im mittleren und rechten Drittel des Zählnetzes vorgegangen.

Fig. 73.
Netzteilung nach W. Türk.
(20 mal vergr.)

Die gefundene Zahl muß bei 10-facher Verdünnung des Blutes mit $\frac{100}{9}$, bei 20-facher mit $\frac{200}{9}$ multipliziert werden, um die Leukozytenzahl für 1 cmm zu finden. Der Fehler der Zählung soll etwa 3 % betragen.

Nach Ermittlung der Gesamtzahl geht man zur Differentialzählung über, indem man die Zählung mit Rücksicht auf die betreffende Art wiederholt. Für die genauere Unterscheidung der einzelnen, durch Gentianaviolett

1) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1902, 2, 1904, 1, S. 90, 95, 101 und 1912, 2, S. 18.

gefärbten Arten gibt Türk noch eine Reihe von Anhaltspunkten[1]). Man zählt eine Art nach der andern und kann dann leicht sowohl die absolute Zahl als auch das prozentische Verhältnis berechnen. Angenommen, es seien bei 10-facher Verdünnung des Blutes 640 Leukozyten überhaupt, darunter z. B. 160 Lymphozyten und 3 Mastzellen, gezählt worden, so beträgt die Gesamtleukozytenzahl für 1 cmm Blut $\frac{640 \cdot 100}{9}$, auf Hunderte abgerundet 7100, die Gesamtlymphozytenzahl $\frac{160 \cdot 100}{9}$, rund 1800, die Gesamtmastzellenzahl $\frac{3 \cdot 100}{9}$, rund 30, oder 25% der Leukozyten waren Lymphozyten und nur etwa 0,5% Mastzellen.

Schwierigkeiten bereitet die Zählung der eosinophilen Leukozyten: wird auf diese besonders Wert gelegt, dann muß die Zählung dieser Art im Nativpräparat, wo sie gut kenntlich ist, oder besser nach einer der unten zu beschreibenden Methoden gesondert vorgenommen werden.

Nach den Erfahrungen des Verfassers ist die Türksche Methode recht geeignet, sofern starke Beleuchtung (Kondensor) angewendet wird: sehr deutlich treten die Mastzellen hervor.

Auf Grund vielfältiger Erfahrungen gibt Türk für menschliches, normale Leukozytenarten enthaltendes Blut noch folgende vereinfachte Methode der Zählung an[2]). Wenn sich aus dem Leukozytenpräparate ergibt, daß die großen mononukleären Leukozyten mit Übergangsformen und die Mastzellen keine wesentliche Veränderung aufweisen, und wenn ein rasch gewonnener Überblick über das frische Blutpräparat eine Vermehrung der Eosinophilen nicht erkennen läßt, so ist eine zahlenmäßige Feststellung des prozentischen Lymphozytengehaltes vollständig ausreichend, um sich ein klares Urteil über die Leukozytenverhältnisse des untersuchten Blutes zu bilden, da man sich aus dem Lymphozytenwerte unter diesen Verhältnissen ein ganz hinreichend genaues Urteil über die ungefähre Zahl der Neutrophilen zu bilden vermag.

Auf eine Methode, welche W. Schüffner[3]) in den Tropen (auf Sumatra) angewendet hat, sei nur verwiesen.

Außer diesen Methoden, welche die Zählung aller Leukozytenarten in der Kammer anstreben, sind auch noch einige spezielle Methoden zur Zählung der eosinophilen Leukozyten von J. Zappert und R. Dunger angegeben worden.

d. Die Methode von J. Zappert (1892)[4]).

Zur Verwendung kommt der Thoma-Zeißsche Zählapparat mit dem in Figur 74 abgebildeten Zählnetz.

Verdünnt, fixiert und gefärbt wird mit der folgenden, der Mayetschen (S. 18) ähnlichen Lösung. Zu 5 ccm einer frischen 1%-igen

1) Über die Unterscheidung der Lymphozyten von Erythroblasten siehe S. 81 dieses Handbuches.

2) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 104.

3) W. Schüffner, Lit.-Verzeichnis 1911, 14, S. 1452.

4) J. Zappert, Lit.-Verzeichnis 1892, 1, S. 386 und 1893, 2 S. 236.

Lösung von Osmiumsäure in Wasser werden in einem Reagenzglase 4—5 Tropfen einer filtrierten Mischung von

Dest. Wasser
Glyzerin āā 10,0 g
1 %-ige wäßrige Eosinlösung 5,0 „

hinzugefügt. Die Flüssigkeit wird gut durchgeschüttelt und bleibt etwa 1 Stunde verwendbar.

Nach 100-facher Verdünnung des Blutes mit dieser Lösung in der Mischpipette wird 1—2 Minuten gut durchgeschüttelt und nach dem Ausblasen der ersten Tropfen die Kammer mit einem der folgenden gefüllt. Dann muß man einige Minuten zuwarten, bis sich die Blutkörperchen in der relativ schweren Flüssigkeit gesenkt haben. Die rötlich gefärbten Erythrozyten bleiben — oft etwas geschrumpft, jedoch nur stellenweise aneinander geklebt — erhalten, die Granula der eosinophilen Leukozyten sind tiefrot gefärbt und scharf vom farblosen Kern abgegrenzt.

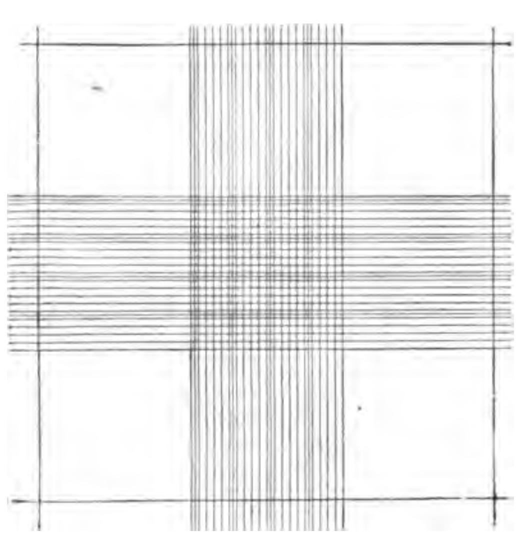


Fig. 74.
Netzteilung nach J. Zappert.
(20 mal vergr.)

Die Eosinophilen werden auf dem 9 qmm umfassenden Netz gezählt; bei der Spärlichkeit dieser Elemente muß die Zählkammer 4—5 mal gefüllt werden, um eine für die Berechnung brauchbare Zahl zu erhalten. Auch die übrigen Leukozyten sind der Zählung zugänglich, ebenso die roten Blutkörperchen, deren Zahl auf dem mittleren Quadratmillimeter bestimmt wird. Der genauen Ermittlung der Erythrozyten ist freilich die ungleichmäßige Verteilung dieser Gebilde hinderlich.

Ein Mangel bei dieser Methode ist die geringe Zahl der wirklich zur Zählung gelangenden Eosinophilen. Diesem Mangel wird durch die folgende Methode gründlich abgeholfen.

e. Die Methode von R. Dunger (1910)[1].

Das Zählnetz (Fig. 75, S. 128) in der im Glase etwas stärkeren und mit einer breiteren kreisförmigen Rinne versehenen Thoma-Zeißschen Kammer umfaßt nicht weniger als 50 qmm; bei einer Kammerhöhe von 0,1 mm wird also in 5 cmm Blutmischung gezählt. Die Verdünnung, Fixierung und Färbung des Blutes wird mit folgender Lösung vorgenommen:

1) R. Dunger, Lit.-Verzeichnis 1910, 7 und 1911, 11.

1 %-ige wäßr. Eosinlösung
Azeton āā 10,0 g
Aq. dest. ad 100,0 „.

Diese Lösung wird gut verkorkt aufbewahrt und ist lange haltbar; mit ihr wird das Blut 10-fach verdünnt, worauf 3—5 Minuten lang geschüttelt und dann die Zählkammer gefüllt wird. In dem hellrosa gefärbten Gesichtsfeld treten die Eosinophilen als rundliche, aus glänzend roten Körnern zusammengesetzte Kugeln scharf hervor, der Kern ist ganz oder fast

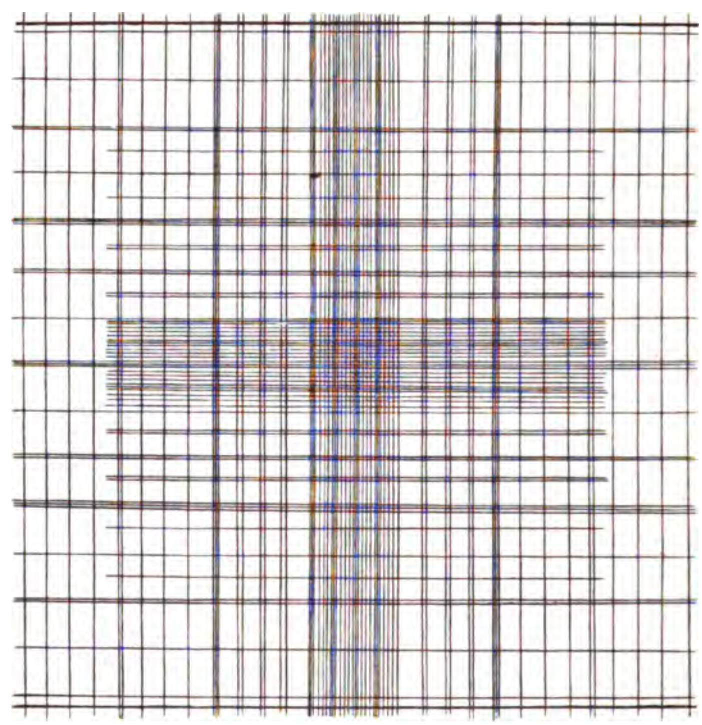


Fig. 75.
Zählnetz nach R. Dunger.

ganz verdeckt. Alle übrigen Leukozyten sind zu Schatten geworden. Gezählt wird bei nur 120—150-facher Vergrößerung, ähnlich wie Türk (S. 125) es vorschreibt, das gefundene Resultat braucht bei Zählung auf dem ganzen Netz nur mit 2 multipliziert zu werden.

Die ungleichmäßige Beschaffenheit des Zählnetzes ist bei dieser und den vorher genannten Methoden einer gleichmäßigen Verteilung nicht günstig, von großem Vorteil ist die bisher unerreichte Größe des Zählnetzes.

4. Zählung der Leukozytenarten im gefärbten Trockenpräparat.

Am besten gelingt die Differenzierung der Leukozyten im gefärbten Trockenpräparate, die exakte Auszählung setzt aber ein tadelloses, fein und gleichmäßig ausgestrichenes Präparat voraus.

a. Universalfärbungen der Leukozyten.

Das ganze Verfahren ist das gleiche, wie es früher (S. 81) für die Differenzierung und Zählung der Erythrozytenarten angegeben wurde. Bei der meist die Erythrozytenarten überragenden Größe der Leukozytenarten muß ganz besonders darauf geachtet werden, daß Quetschungen beim Ausstreichen des Blutes, welche die Leukozyten größer erscheinen lassen, als sie es wirklich sind, vermieden werden. Um sich einen vorläufigen Überblick über die vorhandenen Leukozytenarten zu verschaffen, ist sehr zu empfehlen, vor dem Ausstreichen eine Anreicherung der Leukozyten und zugleich eine Isolierung derselben von den Erythrozyten nach der früher (S. 116) beschriebenen Weise vorzunehmen.

Wegen ihrer ziemlich panoptischen Färbung verdienen von allen im Abschnitt c (S. 88) genannten Färbungsmethoden diejenigen von Leishman und Giemsa und die kombinierten Methoden den Vorzug. Durch richtige Wahl der Flüssigkeiten zur Fixierung, Verdünnung und zum Abspülen der Präparate muß man es dahin zu bringen suchen, daß die basophilen Bestandteile der Leukozyten möglichst gleich gut wie die neutro- und azidophilen wiedergegeben werden.

b. Spezialfärbungen der Leukozyten.

Neben diesen Universalmethoden sind aber keineswegs Spezialmethoden, welche die eine oder andere Leukozytenart oder den einen oder anderen Bestandteil einer Art besonders gut färben, entbehrlich.

Für die Ermittlung der bei der Differenzierung stets eine Rolle spielenden Kernstruktur ist die Hämatoxylinfärbung (S. 92) immer noch die beste, für die Darstellung der Nukleolen Vitalfärbung (S. 122) sehr geeignet.

Eine Spezialfärbung für Lymphozyten oder für andere Leukozyten mit basophilen Bestandteilen ist besonders die Methylgrün-Pyroninfärbung nach Pappenheim (S. 95), durch welche z. B. das Protoplasma der Lymphozyten leuchtend rot wird, auch die Nukleolen treten rot aus dem blaugefärbten Kern hervor; eine Blutzelle, deren Protoplasma sich mit dieser Methode nicht rot färbt, ist jedenfalls kein Lymphozyt. Die Azurgranula kommen am besten durch Leishman- oder längerdauernde Giemsafärbung zur Anschauung.

Eine differente Färbung der Lymphozytenkerne gegenüber den Kernen der übrigen Leukozyten und zwar mit Malachitgrün, das bei saurer Reaktion grün, bei alkalischer aber blau aussieht, hat Kronberger[1]) angegeben. Blut wird 1—1 $^1/_2$ Stunden nach einer Mahlzeit entzogen, auf Paraffin werden die Leukozyten angereichert (S. 116)[2]). Dann wird ein Strichpräparat aus der Kuppe des Blutstropfens hergestellt und durch Hitze (allmähliches Erwärmen über einer Spiritusflamme) fixiert. Nach dem Abkühlen tropft man alkoholische Eosinlösung auf das Präparat, läßt die Farblösung $^1/_2$ bis 1 Minute wirken und spült dann mit dest. Wasser ab. Sodann bringt man wäßrige konzentrierte Malachitgrünlösung neutraler Reaktion für $^1/_2$ bis

---

1) Kronberger, Lit.-Verzeichnis 1907, 1.

2) Verfasser hat diese Methode zur Anreicherung der Thrombozyten schon im Jahre 1903 angegeben (K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1903, 5) und seither auch stets zur Verminderung der Erythrozyten und Anreicherung der Leukozyten benutzt.

1 Minute auf das Präparat, worauf man mit dest. Wasser abspült, über einer Flamme trocknet und in Kanadabalsam einschließt oder noch besser sofort bei Ölimmersion betrachtet. Die Lymphozytenkerne sind smaragdgrün gefärbt, die der übrigen Leukozyten himmelblau, die eosinophilen Granula leuchtend rot; bei ganz schwacher Vergrößerung kann man daher schon Lymphozyten und übrige Leukozyten voneinander trennen.

Verfasser hat mit dieser Methode keine befriedigenden Resultate erzielt, es spielt offenbar die Beschaffenheit des Wassers eine Rolle.

Besondere Färbungsmethoden für große Mononukleäre und Übergangsformen sind bisher nicht bekannt gegeben worden, alles Wesentliche bringen Leishman-, Giemsafärbung und die kombinierten Methoden zur Darstellung.

Die für die neutrophilen polymorphkernigen Leukozyten charakteristische Granulation tritt am besten bei Triazidfärbung, die eosinophile und basophile Granulation bei Jenner-May-Grünwald- oder Leishman-Färbung hervor. Besondere Verfahren zur leichten Erkennung der Mastzellen haben P. Ehrlich und W. Türk ausgearbeitet.

Färbung der Mastzellen mit Dahlia nach P. Ehrlich.

Dahlia ist das chlorwasserstoffsaure Salz des Triäthylrosanilins ($C_{26}H_{33}N_3Cl$)[1]).

Die Färbung geschieht mit folgender Lösung:

Alkohol absolut.	50	ccm
Aqua dest.	100	„
Acid. acet. glacial.	12,5	„
Dahlia bis fast zur Sättigung[2]).		

Nach Fixation des Blutpräparates durch Hitze oder Methylalkohol wird 4—6 Stunden mit der obigen Lösung gefärbt, worauf kurz in Wasser abgespült und mit Alkohol differenziert wird, bis kein Farbstoff mehr abgeht. Die Mastzellengranula werden violett gefärbt.

Verfasser hat auch schon nach 5 Minuten langer Einwirkung gute Färbung der Mastzellen erhalten. Die übrigen körperlichen Elemente des Blutes treten kaum hervor.

Färbung der Mastzellen mit Methylenblau und Jod nach W. Türk[3]).

Das in der Hitze bei 120° fixierte Präparat wird in der folgenden Methylenblaulösung

Methylenblau (medic. puriss.)	2,0	g
Absoluter Alkohol	100,0—120,0	„
Dest. Wasser	100,0— 80,0	„

bei gelinder Wärme gefärbt und kommt nach kurzem Abspülen auf ½ Minute in eine wäßrige Jod-Jodkaliumlösung von dem Verhältnis 1J : 2JK : 300H_2O.

1) Vom Laboratorium Dr. Grübler (Adresse S. 91, Anm. 1) zu beziehen.
2) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1877, 2, S. 265.
3) W. Türk, Lit.-Verzeichnis 1904, 1, S. 223.

Dann wird wieder rasch abgespült und eingebettet, anstatt in Balsam jedoch in Jodgummisirup von der Zusammensetzung

Jodi puri	1,0 g
Kalii jodati	3,0 „
Aq. destillatae	100,0 „

Gummi arab. q. s. bis zur Erreichung von Sirupkonsistenz.

Die Mastzellengranula sind bei dieser Färbung sehr scharf begrenzt und tief schwarz gefärbt, die Kerne sind sehr schwach blaß bräunlich.

Die Methode ist der vorhergenannten vorzuziehen, weil sie die Mastzellen deutlich hervorhebt und doch die übrigen körperlichen Elemente nicht auslöscht.

Für Myelozyten sind Triacid-, Jenner-, May-Grünwald-, Leishman- und Giemsafärbung und die kombinierten Färbungen geeignet, für Myeloblasten und Türksche Reizungsformen besonders Leishman- und Giemsafärbung. Für Plasmazellen kommt neben Methylgrün-Pyroninfärbung Giemsafärbung in Betracht, zur Feststellung der Radspeichenstruktur des Kernes Hämatoxylinfärbung.

Die zur Unterscheidung der Leukozyten des myeloischen Systems von denen des lymphatischen Systems dienende, vielfach erwähnte und auf der Gegenwart von oxydierenden Fermenten[1]) beruhende

Indophenolblausynthese nach Winkler-Schultze (1909)[2])

wird folgendermaßen durchgeführt. Die frischen Blutausstrichpräparate werden in 4 %-igem Formaldehyd fixiert, ältere Präparate brauchen nicht besonders fixiert zu werden.

Zur Vornahme der Reaktion bedarf man zweier Flüssigkeiten, einer 1 %-igen wässerigen Lösung von α-Naphthol mit 1 % Natriumkarbonat und einer 1 %-igen wässerigen Lösung von Dimethyl-p-Phenylendiamin (basic.) (Merck). Da sich α-Naphthol nicht besonders gut in Wasser löst, muß man die Lösung bei Erwärmung vornehmen und später kalt filtrieren. Der geringe Alkalizusatz erhöht die Löslichkeit und scheint außerdem die Schnelligkeit der Reaktion günstig zu beeinflussen. Beide Lösungen bilden zusammengebracht bei Luftzutritt allmählich durch oxydative Synthese einen blauen Farbstoff, der in die Gruppe der Indophenole (im speziellen Fall Naphtholblau) gehört und, da er unlöslich ist, ausfällt. Beim Vorhandensein eines oxydativen Fermentes wird diese Reaktion stark beschleunigt, und es werden diejenigen Stellen, an denen das Ferment lokalisiert ist und an denen die Synthese sofort eintritt, blaugefärbt.

Bringt man nun das Blutpräparat aus Wasser hintereinander in die beiden Lösungen oder auch in ein Gemisch gleicher Teile dieser Lösungen, so kann man schon makroskopisch eine deutliche Bläuung nach kurzer Zeit wahrnehmen. Spült man in Wasser ab und untersucht in Wasser nach Bedeckung mit einem Deckglas, so wird man Granula im Protoplasma der

1) Über die Guajakreaktion des Blutes, welche auf oxydierenden Fermenten beruht, siehe K. Brandenburg, Lit.-Verzeichnis 1900, 10 und E. Meyer, Lit.-Verzeichnis 1903, 10.

2) F. Winkler, Lit.-Verzeichnis 1907, 11 und W. H. Schultze, Lit.-Verzeichnis 1909, 7, S. 168.

Abkömmlinge des myeloischen Systems prachtvoll blau gefärbt finden, in dem der Abkömmlinge des lymphatischen Systems aber nicht. Die normalen Myeloblasten des Knochenmarks geben die Reaktion für gewöhnlich nicht, wohl aber die pathologisch im Blut vorkommenden Myeloblasten bei der Myeloblastenleukämie.

Verfasser hat je einen Tropfen der beiden Lösungen auf einen Objektträger gebracht, gemischt, das Deckglaspräparat mit der Blutschichte nach abwärts auf die Mischung gelegt und so ohne weiteres sehr schöne Resultate erzielt.

Die Präparate sind nur für Stunden haltbar, dann blassen sie ab. Alkohol extrahiert den Farbstoff, auch in Öl und Xylol verschwindet die Blaufärbung. Auf Gegenwart von oxydierenden Fermenten beruht auch die Peroxydasenreaktion von C. Kreibich[1]) mit 1—2%-igen Lösungen von benzidinmonosulfosaurem Natron.

Zum

Nachweis jodophiler Substanzen in Leukozyten nach P. Ehrlich (1898)[2])

legt man das lufttrockene Präparat in ein geschlossenes, Jodkristalle enthaltendes Gefäß, in dem es binnen weniger Minuten eine dunkelbraune Farbe annimmt, und bettet es dann mit Hilfe einer gesättigten Lävuloselösung, die einen sehr hohen Brechungsindex besitzt, ein. Zur Konservierung ist die Umrahmung mit Hilfe eines Deckglaskittes notwendig. Alle jodophilen (glykogen- oder amyloidhaltigen) Bestandteile werden mahagonibraun gefärbt. Die Reaktion kommt aber nur in pathologischem Blute zustande.

Die von Ehrlich[3]) zuerst angegebene Jodgummilösung ist nicht so geeignet.

Noch besser setzt man, wie es R. Zollikofer[4]) getan hat, die feuchten Präparate den Joddämpfen aus — dann tritt die Färbung rascher und intensiver ein — und untersucht in Lävulosesirup. Die Jodreaktion ist insbesondere für die polymorphkernigen neutrophilen Leukozyten charakteristisch und kann, in dieser Weise ausgeführt, auch in normalem Blute auftreten.

c. Art der Zählung.

Die Auszählung der so differenzierten Leukozytenarten erfolgt in ganz analoger Weise wie bei Auszählung der Erythrozytenarten (S. 102), die gleichen Vorschriften wie dort gelten auch hier.

Um die relative Zahl der einzelnen Leukozytenarten festzustellen, legt man sich eine Tabelle an, welche Rubriken für die einzelnen Arten enthält. Dann zählt man in möglichst gleichmäßig ausgestrichenen Teilen der beiden Deckglaspräparate (S. 102) dadurch, daß man die im ganzen oder in dem nach Ehrlich (S. 103) eingeengten Gesichtsfelde des Mikroskops befindlichen Leukozyten nach Art und Zahl feststellt und das Ergebnis in die

1) C. Kreibich, Lit.-Verzeichnis 1910, 12, S. 1444.
2) P. Ehrlich und A. Lazarus, Lit.-Verzeichnis 1898, 1, S. 30.
3) P. Ehrlich, Lit.-Verzeichnis 1883, 5, S. 46.
4) R. Zollikofer, Lit.-Verzeichnis 1899, 7, S. 15.

entsprechenden Rubriken der Tabelle einträgt. Darauf stellt man mit Hilfe des verschiebbaren Objekttisches einen anderen angrenzenden Teil des Präparates ein, zählt wieder, notiert und fährt so fort, bis man einige Hundert Leukozyten gezählt hat. Wurden L Leukozyten im ganzen gezählt und l von einer bestimmten Art, so ist der Prozentgehalt an dieser Art $\frac{l \cdot 100}{L}$. Wird auf eine Art besonderer Wert gelegt, so sollten von dieser Art allein schon mehrere Hundert Exemplare gezählt werden, wozu man eventuell mehrerer Paare von Deckglaspräparaten bedarf.

Sollen auch die absoluten Zahlen der Arten in 1 cmm Blut ermittelt werden, so schickt man eine Leukozytenzählung in der Kammer ohne Rücksicht auf die Art voraus. Angenommen, es seien für 1 cmm Blut L′ Leukozyten berechnet worden und der Prozentgehalt der betreffenden Art betrage l′, dann ist die absolute Zahl der betreffenden Art für 1 cmm Blut $\frac{L' \cdot l'}{100}$.

Die früher (S. 74) schon erwähnte Tojbinsche Zählmaschine „Cytax“ kann auch bei Differentialzählungen Verwendung finden. Ferner hat V. Schilling[1]) ein Differentialleukozytometer[2]) angegeben, bestehend aus soviel Glasröhren, als Zellklassen angenommen werden; für jeden gezählten Leukozyt wird dann aus einer Menge von 100 Stahlkugeln je eine Stahlkugel in die betreffende Röhre geworfen. Da die Röhren nur wenig weiter sind, als der Durchmesser der Kugeln groß ist, so gibt die Höhe jeder Kugelsäule nach dem Verbrauch von 100 Stahlkugeln direkt den Prozentgehalt der betreffenden Leukozytenart an. Hat man sich Marken für das normale Leukozytenbild angebracht, so markiert sich jede Abweichung augenfällig.

Die Differentialzählung kann sich aber nicht nur auf verschiedene Arten von Leukozyten erstrecken, sie kann auch mit Rücksicht auf Differenzen innerhalb einer Art erfolgen. Eine solche Differentialzählung 2. Ordnung hat J. Arneth in bezug auf die polymorphkernigen neutrophilen Leukozyten sehr dringend empfohlen.

Aufstellung des neutrophilen Blutbildes nach J. Arneth (1904)[3]).

Der Autor hat die neutrophilen Leukozyten nach der Polymorphie des Kernes in 5 Klassen mit 1, 2, 3, 4, 5 und mehr Kernteilen unterschieden. Diese Unterscheidung ist besonders bei Triazidfärbung, welche die Verbindungsbrücken zwischen den Kernteilen nicht so gut wiedergibt, leichter durchzuführen. Die Kernteile selbst hat Arneth noch in schleifenförmige und runde getrennt. Da der Gang der Entwicklung bei den neutrophilen Leukozyten der ist, daß sich ihre Kerne mit zunehmendem Alter immer mehr segmentieren, die Schleifenteile immer mehr in kleinere runde Teile übergehen, so ist also die Zahl und Art der Kernteile ein Maß für das Alter dieser Leukozyten.

Legt man nun entsprechend den 5 Klassen von Neutrophilen neben-

1) V. Schilling, Lit.-Verzeichnis 1912, 10, S. 20.
2) Zu beziehen von der optischen Werkstätte C. Zeiß, Jena.
3) J. Arneth, Lit.-Verzeichnis 1904, 10.

einander 5 Rubriken an und trägt bei einer Auszählung von 100 Neutrophilen nach Klassen die gefundenen Zahlen in die entsprechenden Rubriken ein, so ergibt sich z. B. der folgende Fall, den Arneth an sich selbst festgestellt hat:

Klasse	1.	2.	3.	4.	5.
Neutrophile in Prozenten	4	21	48	23	4

Dieses normale, von mittlerem Alter an bis ins Greisenalter bei Gesunden festzustellende „neutrophile Blutbild“ kann nun unter besonderen Umständen durch Untergang der älteren Klassen insofern eine „Verschiebung nach links“ erfahren, als dann die jungen Neutrophilen der Klasse 1 und 2 überwiegen oder eine „Verschiebung nach rechts“ aufweisen, wenn Klasse 4 und 5 in der Überzahl sind. Im ersteren Falle liegen dann unreife, im letzteren überreife Neutrophile vor.

Auf Grund zahlreicher Untersuchungen kommt Arneth zur Aufstellung des folgenden Schemas der Blutbeschaffenheit in bezug auf die absolute Zahl aller Leukozyten einerseits und des neutrophilen Blutbildes andererseits.

1. Normale Leukozytenzahl (nüchtern 5—6000) mit
   a) normalem neutrophilem Blutbild: Isonormozytose,
   b) pathologisch verändertem neutrophilem Blutbild: Anisonormozytose.
2. Vermehrte Leukozytenzahl mit
   a) normalem neutrophilem Blutbild: Isohyperzytose,
   b) pathologisch verändertem neutrophilem Blutbild: Anisohyperzytose.
3. Verminderte Leukozytenzahl mit
   a) normalem neutrophilem Blutbild: Isohypozytose,
   b) pathologisch verändertem neutrophilem Blutbild: Anisohypozytose.

Gegen diese Aufstellung des neutrophilen Blutbildes sind Einwände erhoben worden, die sich insbesondere gegen die zu weit gehende Unterscheidung in 5 Klassen richten. Es sollen ferner bei Infektionskrankheiten vielfach pathologische alte Neutrophile vorkommen, die sich durch Kleinheit und geringe Lappung des Kerns auszeichnen (Türks Fieberzellen) und die man also nach Arneth geneigt wäre, für junge Individuen zu halten. Unter Berücksichtigung dieser Einwände wird man aber doch zugeben müssen, daß in der Arnethschen Lehre ein guter Kern steckt.

Die auf die Arnethsche Lehre bezügliche Literatur findet man bei O. Naegeli[1]) zusammengestellt.

V. Zählung und Differenzierung der Thrombozyten.

Von den körperlichen Elementen des Blutes bereiten die Thrombozyten[2]) der Zählung die größten Schwierigkeiten, woran die geringe Größe, die gewöhnlich unbestimmte Gestalt, die große Klebrigkeit und die leichte Ver-

1) O. Naegeli, Lit.-Verzeichnis 1912, 1, S. 236.
2) Über Morphologie der Thrombozyten siehe H. Deetjen, Lit.-Verzeichnis 1901, 3 und 1909, 8, F. Kopsch, Lit.-Verzeichnis 1901, 7 und M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis

änderlichkeit dieser Gebilde die Schuld trägt. Vor der Zählung ist es unbedingt nötig, sich diese Eigenschaften der Plättchen eindringlich vor Augen zu führen, sonst sieht man leicht für Blutplättchen an, was in Wahrheit Schmutzplättchen oder Trümmer der anderen körperlichen Elemente sind, und erhält ferner nicht die richtige Vorstellung von den Faktoren, welche die Zählung so sehr beeinflussen.

Sollen die Blutplättchen möglichst unverändert zur Darstellung gelangen, so muß vor allem die Blutgerinnung verhindert werden. Ist die Gerinnung einmal vollständig eingetreten, dann sind alle Blutplättchen unter Aufblähen und Scholligwerden in das Fibrinnetz mit einbezogen, denn die Blutplättchen, nicht die roten und weißen Blutkörperchen sind es, welche die Gerinnungszentren darstellen. Mit dem Fibrin werden auch die Blutplättchen aus dem Blute entfernt, defibriniertes Blut enthält daher keine Blutplättchen mehr.

Zur Darstellung der Blutplättchen ist es nun im allgemeinen gleichgültig, in welcher Weise die Gerinnung verhindert wird, wenn sie nur überhaupt verhindert wird. Man kann daher innerhalb der Blutgefäße, nach Abkühlung des ausgetretenen Blutes, nach Zusatz gerinnungshemmender Stoffe wie Natriummetaphosphat, Magnesiumsulfat, Natriumzitrat, Natriumoxalat und besonders Hirudin[1]) zu demselben oder nach dem Auffangen des Blutes auf passender Unterlage die Blutplättchen zur Beobachtung bekommen.

Für die genauere Orientierung über Blutplättchen ist besonders wünschenswert, daß diese Gebilde im Blute angereichert, von den roten und weißen Blutkörperchen getrennt und doch in der natürlichen Suspensionsflüssigkeit, dem Plasma, untersucht werden können. Diesen Forderungen genügt die vom Verfasser angegebene, schon früher (S. 116) erwähnte Methode, bei welcher ein frei und rasch ausfließender Tropfen Blut auf ein Stück festes geglättetes Paraffin mit oder ohne Hirudin gebracht wird. Berührt man die Kuppe des Tropfens nach etwa 20 Minuten mit dem Deckglas und entfernt dieses wieder, so hebt man ein Tröpfchen Plasma ab, das eine Unsumme von Blutplättchen, aber kaum ein rotes oder weißes Blutkörperchen enthält. Legt man das Deckglas mit dem Tröpfchen nach abwärts auf einen Objektträger ohne weiteres oder auf ein dort befindliches Körnchen oder Tröpfchen gerinnungshemmender Substanz oder Lösung auf, so kann man das Präparat mikroskopisch untersuchen, sei es, daß nun im Präparate Gerinnung eintritt oder nicht.

Nach C. Achard und M. Aynaud[2]) ist der Gewebssaft den Blut-

1909, 9, S. 114 und 211, über Vergleichend-Anatomisches bei C. E. Eberth, Lit.-Verzeichnis 1887, 2 und M. C. Dekhuyzen, Lit.-Verzeichnis 1901, 4 und über Historisches bei M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1909, 9, S. 1. Zusammenfassende Darstellungen über Gewinnung und Zählung der Thrombozyten geben K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 7, S. 37 und 1908, 6, F. Kopsch, Lit.-Verzeichnis 1904, 16, S. 347, J. Pratt, Lit.-Verzeichnis 1905, 10, W. B. Cadwalader, Lit.-Verzeichnis 1906, 7, G. T. Kemp, H. Calhoun and C. E. Harris, Lit.-Verzeichnis 1906, 8, M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1909, 9, S. 163 und A. R. Walther, Lit.-Verzeichnis 1910, 14, S. 46.

1) Hirudin, ein Bestandteil der Munddrüsen des Blutegels, wird von der chemischen Fabrik E. Sachsse u. Co. in Leipzig hergestellt.

2) M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1909, 9, S. 34.

plättchen gefährlich. Diese Autoren entziehen daher das Blut nicht aus einer Schnittwunde, sondern führen eine innen und außen mit Vaselin oder Paraffin überzogene Hohlnadel in eine Vene ein, fangen das Blut in einem paraffinierten Gefäße auf und lassen sedimentieren oder zentrifugieren. Als besonders geeignet hat sich ihnen Eselsblut erwiesen, in dem sehr rasch die roten Blutkörperchen sedimentieren oder abzentrifugiert werden können. Mit paraffinierter Pipette wird dann ein Tropfen Plasma samt Blutplättchen auf einen ganz dünn mit Öl oder Vaselin bestrichenen Objektträger gebracht, mit einem Deckgläschen bedeckt, mit Paraffin oder Vaselin umrandet und dann bei starker Vergrößerung untersucht. Auch die Abkühlung des Blutes muß verhindert werden.

In dem Präparate, in welchem die Gerinnung verhindert wird, sind die Thrombozyten farblose, verschieden große, im Mittel aber nur etwa 3 μ große, morphologisch recht unbestimmte Gebilde von Scheiben- oder Spindelform, häufig mit einem oder mehreren Fortsätzen versehen.[1]) Manchmal läßt sich ein besonderer Innenkörper wahrnehmen, immer nach Zusatz von dünner (2—3 %-iger) Essigsäure zum Blut oder nach Färbung im Trockenpräparate (Taf. III, Fig. A, 3, bei Seite 120).

Unter Umständen zeigt sich aber, daß diese ohne weiteres so unbestimmten Gebilde schöne sternförmige Zellen mit einem deutlichen Kerne darstellen (Taf. III, Fig. A, 4). Auf ältere, weniger brauchbare Methoden von M. C. Dekhuyzen[2]) und H. Deetjen[3]), welche dies zeigen sollen, sei nur verwiesen, viel besser führt eine neuere, von Deetjen[4]) angegebene Methode zum Ziele.

Deetjen isoliert zunächst die Blutplättchen dadurch, daß er ein Tröpfchen Blut aus der Fingerbeere entnimmt, auf einem sehr sorgfältig gereinigten Deckgläschen (S. 78) auffängt und dieses dann, gestützt von zwei dünnen Glasfäden, auf einen gleichfalls sehr sorgfältig gereinigten Objektträger auflegt. Nun schwemmt er das Blut fort, indem er von der einen offenen Seite her aus einer Pipette physiologische Kochsalzlösung unter das Deckglas zufließen läßt und von der entgegengesetzten Seite her mit Filtrierpapier wieder absaugt. Sowohl die roten wie die weißen Blutkörperchen werden dadurch fortgespült, und nur die Blutplättchen bleiben vermöge ihrer Klebrigkeit größtenteils am Deckglase haften.

Jetzt ersetzt er die einfache Kochsalzlösung durch eine Lösung von der folgenden Zusammensetzung:

Kochsalz	0,75 g
Mangansulfat	0,50 „
Soda	0,01 „
dest. Wasser	100 ccm.

Auf diese Lösung bringt er etwa 10 Tropfen Amylen[5]), das ungefähr 1 Jahr alt und peroxydhaltig ist, worauf er das Amylen abdunsten läßt; das

1) Abbildungen siehe bei F. Kopsch, Lit.-Verzeichnis 1901, 7, S. 543.
2) M. C. Dekhuyzen, Lit.-Verzeichnis 1901, 4.
3) H. Deetjen, Lit.-Verzeichnis 1901, 3, S. 260.
4) H. Deetjen, Lit.-Verzeichnis 1909, 8, S. 1, 13 und 22.
5) Von der chemischen Fabrik E. Merck in Darmstadt zu beziehen.

Peroxyd bleibt dann in der Lösung zurück. Man kann auch umschütteln und das Amylen durch Kochen verjagen. Statt des Amylens kann man auch andere peroxydhaltige Substanzen zusetzen, z. B. Allylchlorid, auch Zusatz von 0,5 ccm einer 1 %-igen Perhydrollösung[1]) ist recht geeignet, doch zersetzen sich diese Lösungen rascher als Amylenlösungen. Unter dem Einfluß dieser Lösungen breiten sich nun die Plättchen aus.

Nach einiger Zeit ersetzt Deetjen diese Lösung durch 1 %-ige wäßrige Osmiumsäurelösung, fixiert dadurch die Plättchen im ausgebreiteten Zustande und färbt sie nach der Methode von Giemsa (S. 99). Man sieht dann schöne sternförmige Zellen von wechselnder Größe mit einem deutlich gefärbten Kern.[2]) Wer diese Zellen einmal gesehen hat, wird die Thrombozyten nicht mehr für Trümmer von Leukozyten oder gar Erythrozyten halten. Auch in Blut, das, mit Hirudin versetzt, auf einen geheizten Objekttisch gebracht wird, breiten sich nach H. Sahli[3]) die Plättchen aus.

Die Methode gelingt in der Tat sehr leicht und führt zu schönen Präparaten. Bei den Wirbeltieren außer den Säugern sind die Thrombozyten spindelförmige Zellen (Taf. III, B, 11 u. 12).

Unterbleibt der Zusatz gerinnungshemmender Substanz, so blähen sich die Plättchen und zeigen scholligen Zerfall, worauf man Fibrinfäden von ihnen ausstrahlen sieht.[4]) Wie die Leukozyten sollen auch die Thrombozyten Träger von Fermenten und jodophilen Substanzen sein; was man als „extrazelluläre Jodreaktion der Leukozyten" beschrieben hat, ist auf Thrombozyten zu beziehen.[5])

Mit diesen Vorkenntnissen über die noch viel zu wenig bekannten Thrombozyten ausgerüstet wird die Zählung dieser labilen Gebilde besser gelingen. Diese Zählung kann im Nativpräparat, nach Vitalfärbung, in der Zählkammer und im Trockenpräparat erfolgen. Da man bei den Thrombozyten eine Unterscheidung nach Arten bisher noch nicht durchgeführt hat, so kommt nur die Zählung überhaupt, nicht ohne und mit Rücksicht auf die Art, wie bei den Erythrozyten und Leukozyten, in Betracht.

A. Schätzung der Thrombozyten im Nativpräparat.

In dem nach früheren Angaben (S. 78 und 121) hergestellten Nativpräparate läßt sich eine Schätzung vornehmen, ob eine Vermehrung oder Verminderung der Thrombozyten vorliegt oder nicht, sofern man sich durch häufige Untersuchungen normalen Blutes in der Beurteilung der Zahl geübt hat. Auf etwa 8—9 rote Blutkörperchen darf man beim Menschen unter normalen Verhältnissen 1 Blutplättchen rechnen, wenn bei der Blutentziehung alles vermieden wurde, was einen Verlust von Blutplättchen für das Nativpräparat herbeiführt.

Bei der außerordentlichen Klebrigkeit dieser Elemente werden einige

1) Perhydrol ist eine 30 %-ige Wasserstoffsuperoxydlösung, von der Firma E. Merck in Darmstadt erhältlich.

2) Abbildungen siehe auch bei F. Kopsch, Lit.-Verzeichnis 1901, 7, S. 544.

3) H. Sahli, Lit.-Verzeichnis 1909, 6, S. 916.

4) Abbildungen zerfallender Thrombozyten siehe bei F. Kopsch, Lit.-Verzeichnis 1901, 7, S. 549.

5) R. Zollikofer. Lit.-Verzeichnis 1899, 7, S. 14.

Zeit nach Herstellung des Präparates die wenigsten Blutplättchen im Plasma noch frei beweglich sein, sie sitzen entweder auf dem Boden, dem Objektträger oder an der Unterseite des Deckglases, und zwar meist zu größeren Häufchen vereint. Gelegentlich kann man neben den an sich morphologisch so wenig charakteristischen, aber gegenüber den roten und weißen Blutkörperchen so sehr differenten Gebilden einen schönen sternförmigen, weit ausgebreiteten Thrombozyten mit deutlichem Kern sehen.

Bei der bald einsetzenden Gerinnung werden schließlich die Blutplättchen unter Aufblähen und Scholligwerden in das Fibrinnetz miteinbezogen, die zerfallenden Blutplättchen stellen die Gerinnungszentren dar. Die Schätzung muß also vor dem Einsetzen des Zerfalles beendet sein, es bleiben daher bei Zimmertemperatur nur wenige Minuten zur Verfügung [1]). Soll der Zerfall verhindert werden, so kühlt man ab oder setzt ein Körnchen Hirudin dem Blute zu. Wird das mit Hirudin versetzte Blutpräparat auf einen geheizten Objekttisch gebracht und das Blut auf Körpertemperatur erwärmt, so breiten sich nach H. Sahli [2]) die Plättchen aus.

B. Schätzung der Thrombozyten durch Vitalfärbung.

Auch die Thrombozyten sind der Vitalfärbung zugängig, das Verfahren ist im Prinzip das gleiche wie bei den Erythrozyten (S. 80) und Leukozyten (S. 122), nur muß mit der außerordentlichen Verletzlichkeit der Thrombozyten gerechnet werden, die Vitalfärbung wird sonst leicht eine Prämortalfärbung.

Am geeignetsten erwies sich C. Achard und M. Aynaud [3]) von Farbstoffen das Neutralrot. Das Blut muß, ohne in Kontakt mit Gewebssäften zu kommen, entzogen und auf fein mit Öl oder Vaselin bestrichenen, erwärmten Objektträgern untersucht werden, so wie es schon früher (S. 136) beschrieben wurde. Auf 1 Teil Blut sollen nur 0,00005 Teile Neutralrot kommen. Unter diesen Umständen sieht man 2 oder 3 Granula in den Thrombozyten sich rot färben.

Von andern Farbstoffen ist besonders Brillantkresylblau zur Vitalfärbung benutzt worden; nach den oben genannten französischen Autoren handelt es sich aber dabei um Prämortalfärbung. [4])

In einem nach den obigen Angaben hergestellten Präparat ist bis zu einem gewissen Grade eine Schätzung der Thrombozyten möglich, unter normalen Verhältnissen kommen beim Menschen, wie erwähnt, auf 1 Thrombozyt 8—9 Erythrozyten. [5])

1) Über die Abhängigkeit des Blutplättchenzerfalls und der Blutgerinnung von der Temperatur siehe K. Bürker, Lit.-Verzeichnis 1904, 7, S. 65 und 79.

2) H. Sahli, Lit.-Verzeichnis 1909, 6, S. 916.

3) C. Achard et M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1908, 8 und M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1909, 9, S. 102.

4) M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1909, 9, S. 107.

5) Über Vitalfärbung der Blutplättchen siehe außer den Arbeiten der französischen Autoren die von C. Levaditi, Lit.-Verzeichnis 1901, 10, S. 426 und 428, G. Puchberger, Lit.-Verzeichnis 1903, 7 und H. Rosin und E. Bibergeil, Lit.-Verzeichnis 1904, 8, S. 215.

C. Zählung der Thrombozyten in der Zählkammer.

1. Die Methode von G. Hayem (1878)[1].

Die Methode zur Zählung der Thrombozyten ist im Prinzip die gleiche, wie sie von Hayem und Nachet zur Zählung der Erythrozyten angegeben wurde (S. 14), nur ist die Zählkammer $\frac{1}{10}$ statt $\frac{1}{5}$ mm tief und durch ein besonderes Quadrat im Okular eine Fläche von $\frac{1}{25}$ qmm auf der Zählfläche abgegrenzt; es wird also in einem Raume von $\frac{1}{250}$ cmm gezählt. Das Deckglas ist besonders dünn gehalten.

Als Verdünnungsflüssigkeit wird das von M. Schultze[2]) angegebene jodhaltige Serum (Amniosflüssigkeit der Kuh mit Jod versetzt) benutzt.

Mit Hilfe der Pipetten werden 500 cmm der Verdünnungsflüssigkeit abgemessen und 4 cmm Blut zugefügt. Nach dem Füllen der Kammer wird bei 400-facher Vergrößerung, bei welcher die Blutplättchen leicht zu erkennen sind, mit Hilfe eines für den vorliegenden Zweck von Nachet besonders korrigierten Objektivs die mittlere Zahl der Blutplättchen für $\frac{1}{250}$ cmm bestimmt, wobei mindestens 40 Räume von der angegebenen Größe ausgezählt werden müssen. Durch Multiplikation mit 31000 oder aus der Tabelle, auf welche früher (S. 16) hingewiesen wurde, kann dann die für 1 cmm Blut anzunehmende Plättchenzahl berechnet bzw. direkt abgelesen werden.

Im Mittel fand Hayem 255000 Plättchen in 1 cmm Blut. Diese zu niedrige Zahl erklärt sich dadurch, daß bei der Abmessung des Blutes eine größere Zahl Plättchen in der Pipette zurückbleibt, die Methode ist also nicht einwandsfrei.

2. Die Methode von M. Afanassiew (1884)[3]).

Der Zählapparat ist der Thoma-Zeißsche (S. 20), besser als eine Zählkammer von $\frac{1}{10}$ mm Tiefe ist aber eine solche von $\frac{1}{5}$ mm.

Die Verdünnung des Blutes wird mit folgender Lösung vorgenommen. Zu einer physiologischen Kochsalzlösung (0,6%-ig) werden 0,6% trockenes Pepton[4]) und ungefähr 0,01–0,02% Methylviolett zugesetzt. Diese Mischung wird gekocht, filtriert und in mit Wattepfropfen versehenen Kolben aufbewahrt. Damit es nicht zur Fäulnis kommt, muß man das Gefäß sterilisieren oder desinfizieren und eine unbedeutende Menge gewöhnlichen Methylen- oder Phenylalkohols, Sublimats oder Karbolsäure der Lösung zusetzen. Man erhält so eine durchsichtige violettfarbene Flüssigkeit von neutraler oder sehr schwach saurer Reaktion.

---

1) G. Hayem, Lit.-Verzeichnis 1878, 3, S. 721 und 1889, 1, S. 38.
2) M. Schultze, Archiv für pathol. Anat. usw., Bd. 30, S. 263. 1864.
3) M. Afanassiew, Lit.-Verzeichnis 1884, 2, S. 226 und 228.
4) Das Pepton darf keine stark saure Reaktion aufweisen, gegebenen Falles muß neutralisiert werden.

Bei der Verdünnung des Blutes mit dieser Lösung wird folgendermaßen verfahren. Sobald ein Blutstropfen nach einem rasch und ziemlich tiefen Stich in die Fingerspitze zum Vorschein kommt, muß derselbe sofort in den Melangeur bis höchstens zur Marke 0,5 aufgenommen werden. Sogleich ziehe man die in einem Schälchen bereitgehaltene Verdünnungsflüssigkeit nach und schüttle dabei etwas, um Blut und Verdünnungsflüssigkeit zu mischen. Nach dem Aufsaugen bis zur Marke 101 schüttle man wieder einige Minuten lang.

Die in der bekannten Weise gefüllte Kammer muß man 5—10 Minuten stehen lassen, besonders dann, wenn man mit der tieferen Kammer arbeitet, da sich die Blutplättchen langsamer als die roten und weißen Blutkörperchen auf die Zählfläche senken.

Zur Zählung der schwach violett oder blau gefärbten Blutplättchen wird das Zeißsche Objektiv D und Okular 3 empfohlen, das die Unterscheidung der Blutplättchen von andern zufälligen Beimischungen ermöglichen soll. Gezählt wird in allen 16 großen Quadraten von je $\frac{16}{400}$ qmm oder in 256 kleinen Quadraten.

Gegen diese Methode der Plättchenzählung muß derselbe Einwand (S. 139) wie gegen die Hayemsche Methode erhoben werden; man wird sich in jeder Beziehung der von C. Schimmelbusch und C. J. Eberth[1]) geübten Kritik anschließen[2]).

3. Die Methode von J. E. G. van Emden (1898)[3]).

Der Autor hat die von Hayem festgestellte Tatsache, daß sich die Plättchen bei einer Temperatur von etwa 0° C ziemlich lange halten, zur Zählung benutzt. Er steckt die Mischpipette für 20-fache Verdünnung, von einem kurzen, mit einem durchbohrten Stöpsel versehenen Reagenzglas umgeben, in eine Kältemischung, in welcher sie trocken bleibt. Nach der in der abgekühlten Pipette vorgenommenen 40-fachen Verdünnung des Blutes mit der von Prus angegebenen modifizierten Flemmingschen Lösung (S. 142) werden schnell nacheinander zwei Zählkammerpräparate angefertigt und in jedem 500 Plättchen gezählt, falls viele da sind, auch noch mehr.

Im Durchschnitt ergaben sich beim Menschen 245000 Plättchen für 1 cmm Blut, was zu wenig ist. Der mittlere Fehler der Zählung soll etwa 6% betragen.

4. Die Methode von E. Helber (1904)[4]).

Um das Aufsuchen der in verschiedenen Schichten der Blutmischung befindlichen Plättchen zu erleichtern und um stärkere Vergrößerungen anwenden zu können, hat Helber eine Thoma-Zeißsche Kammer mit nur 0,02 mm Höhe und nur 0,1 mm dickem Deckglas benutzt. Von Objektiven

1) C. Schimmelbusch und C. J. Eberth, Lit.-Verzeichnis 1885, 2, S. 226 und 1888, 3, S. 32.

2) Über vergleichende Zählungen mit diesen und andern Methoden siehe die Arbeit von N. Tschistowitsch, Lit.-Verzeichnis 1907, 6, S. 299.

3) J. E. G. van Emden, Lit.-Verzeichnis 1898, 8, S. 245.

4) E. Helber, Lit.-Verzeichnis 1904, 11, S. 317.

erwies sich die Zeißsche Wasserimmersion D und das Trockensystem E, von Okularen das Kompensationsokular 6 oder sogar 12 als geeignet; mit letzterem konnten Vergrößerungen bis zu 1080 erzielt werden, so daß bei guter Beleuchtung die Plättchen sicher erkannt und von anderen Gebilden ohne jede Schwierigkeit unterschieden werden konnten. Zur Verdünnung diente 10%-ige Natriummetaphosphatlösung, die sich aber als wenig haltbar erwies, ungefähr alle drei Tage neu bereitet und vor dem Gebrauch filtriert werden mußte. Das Blut wurde mit dieser Lösung in der Mischpipette des Zählapparates 30-fach verdünnt, die Mischung durfte dabei aber nicht lackfarben werden.

Im Mittel fand Helber 200000—250000 Plättchen in 1 cmm Blut.

Gegen die Methode muß eingewendet werden, daß die Kammerhöhe im Vergleich zur Größe der körperlichen Elemente des Blutes viel zu klein ist, kann doch der Durchmesser der großen Mononukleären und Übergangsformen den Wert der Kammerhöhe erreichen, die auch den Durchmesser der roten Blutkörperchen nur um das 2—3-fache übertrifft. All dies muß einer gleichmäßigen Verteilung der körperlichen Elemente auf der Zählfläche hinderlich sein. Die gefundene Blutplättchenzahl ist ferner viel zu niedrig.

5. Die Methode von J. H. Wright und R. Kinnicutt (1911).[1])

Die Zählung wird in der Thoma-Zeißschen Kammer von 0,100 mm Tiefe vorgenommen. Das Blut wird mit der Mischpipette 100-fach verdünnt, und zwar mit einem aus den Vorratslösungen jedesmal frisch herzustellenden Gemisch von 2 Teilen Brillantkresylblaulösung (1 Farbstoff: 300 Wasser) und 3 Teilen wäßriger Zyankaliumlösung (1:1400), das filtriert und unmittelbar gebraucht werden muß. Das richtige Mischungsverhältnis ist von großer Bedeutung und muß dem zu untersuchenden Blut angepaßt werden; für Hundeblut ist das Mischungsverhältnis der Lösungen 2:5. Man erkennt die Brauchbarkeit des Gemisches daran, daß die roten Blutkörperchen zu Schatten aufgelöst, die Kerne der weißen dunkelblau, ihr Protoplasma hellblau gefärbt ist und die lilafarbenen Plättchen gleichmäßig verteilt sind. Ein Niederschlag darf im Präparate nicht auftreten. Die Brillantkresylblaulösung ist, wenn sie in Eis aufgehoben wird, haltbar, die Zyankaliumlösung, welche von reiner Substanz hergestellt werden muß, etwa 10 Tage lang.

Für weniger genaue Versuche werden die Plättchen in 100 kleinen Quadraten gezählt, für genauere in allen 400 Quadraten oder in je 200 Quadraten bei doppelter Füllung.

Die Autoren fanden mit ihrer Methode durchschnittlich 297000 Plättchen in 1 cmm Blut bei Erwachsenen, was immer noch zu wenig ist. Auch ist der Gebrauch der Zyankaliumlösung nicht ganz unbedenklich.

D. Zählung der Thrombozyten durch Ermittlung des Zahlenverhältnisses Erythrozyten: Thrombozyten oder Leukozyten: Thrombozyten und durch Ermittlung der absoluten Zahl der Erythrozyten oder Leukozyten in der Zählkammer.

Zur Ermittlung des Zahlenverhältnisses kann die Zählkammer, das einfache mikroskopische Präparat und das Trockenpräparat dienen.

1) J. H. Wright and R. Kinnicutt, Lit.-Verzeichnis 1911, 18.

1. Die Methode von C. Laker (1886)[1].

Jeder Zählversuch zerfällt in zwei Einzelzählungen.

Zuerst wird mit dem Thoma-Zeißschen Zählapparate die Anzahl der roten Blutkörperchen in 1 cmm Blut bestimmt. Dann wird von demselben Blute ein Tropfen rasch mit einem größeren Tropfen Konservierungsflüssigkeit gemischt. Die Größe der beiden Tropfen ist so zu wählen, daß sich ein passendes Mischungsverhältnis von roten Blutkörperchen und Plättchen ergibt. Bei Tieren läßt man das Blut direkt aus einer geöffneten Arterie in ein Schälchen mit Konservierungsflüssigkeit unter sofortigem beständigem Umrühren einfließen. Nach Füllung der Zählkammer mit dem Gemisch werden die roten Blutkörperchen und die Blutplättchen für sich gezählt und das Zahlenverhältnis beider für gleiche Zählräume festgestellt. Durch eine einfache Rechnung erhält man dann unter Benutzung des absoluten Wertes für die roten Blutkörperchen den Gehalt von 1 cmm Blut an Plättchen.

Die Methode bedeutet einen entschiedenen Fortschritt. Statt im Mittel nur 255000 Plättchen wie Hayem fand Laker so schon 400000 Plättchen in 1 cmm Blut.

Bedenklich bei dieser Methode ist nur das Umrühren; an dem zum Rühren benutzten Instrumente können Plättchen hängen bleiben. Auch wird nichts über die Art der Übertragung des Gemisches in die Zählkammer gesagt. Immerhin ist diese Methode den bisher genannten vorzuziehen.

Als Verdünnungsflüssigkeit hat Prus[2]) modifizierte Flemmingsche Lösung, bestehend aus je 10 Teilen 0,1 %-iger Chromsäure und 1 %-iger Überosmiumsäure und aus 1 Teil Eisessig, benutzt.

2. Die Methode von G. Bizzozero (1887)[3].

Auch bei dieser Methode wird das numerische Verhältnis zwischen roten Blutkörperchen und Plättchen bestimmt und nach Feststellung der absoluten Zahl der roten Blutkörperchen in der Thoma-Zeißschen Zählkammer die absolute Zahl der Plättchen für 1 cmm Blut berechnet.

Das Verfahren ist aber von den bisher erwähnten Methoden insofern verschieden, als auf die Haut ein Tropfen des Fixiermittels gebracht und durch dieses hindurch die Haut angestochen wird oder der Tropfen Blut direkt in die Fixierflüssigkeit fallen gelassen wird. Als Fixiermittel werden eine Methylviolettlösung, bestehend aus 1 Teil des Farbstoffes und 5000 Teilen 0,75 %-iger Kochsalzlösung oder ein Gemisch von 1 Teil 1 %-iger wäßriger Osmiumsäurelösung und 2 Teilen 0,75 %-iger Kochsalzlösung oder von 1 Teil 1 %-iger wäßriger Osmiumsäurelösung und 3 Teilen 0,1 %-iger Kochsalzlösung oder endlich eine 14 %-ige Magnesiumsulfatlösung[4])

1) C. Laker, Lit.-Verzeichnis 1886, 1, S. 30.

2) Prus, Lit.-Verzeichnis 1886, 2.

3) G. Bizzozero, Lit.-Verzeichnis 1887, 1, S. 45 und 67; 1891, 8, S. 471.

4) H. Sahli (Lit.-Verzeichnis 1909, 6, S. 916) hat dieser Lösung noch Methylviolett zusetzen lassen.

empfohlen. Von dem so direkt in das Fixiermittel übertretenden ersten Tropfen Blut wird ein mikroskopisches Präparat hergestellt und das Deckglas desselben mit Öl umrandet, um ein durch die Verdunstung bedingtes, die Zählung störendes Strömen der Blutplättchen zu verhindern. Dann wird bei homogener Immersion, unterstützt von einer Netzteilung im Okular, das Zahlenverhältnis festgestellt und im Anschluß an eine Erythrozytenzählung die absolute Zahl der Plättchen ermittelt.

Bizzozero weist selbst darauf hin, daß es gerade in der gefärbten Fixierflüssigkeit, welche die Blutplättchen deutlicher machen soll, leicht zur Fällung gefärbter Körnchen kommt, welche mit Plättchen verwechselt werden können. Der Autor will ferner nicht in Abrede stellen, daß auch bei Anwendung dieser Methoden Blutplättchen verloren gehen, aber jedenfalls weniger als bei Benutzung von Pipetten zur Verdünnung.

Ähnlich wie Laker und Bizzozero verfuhren R. Fusari[1]), R. Muir[2]), J. Salvioli[3]) und L. Pizzini[4]).

3. Die Methode von T. G. Brodie und A. E. Russell (1897)[5]).

Diese Autoren haben eine ganze Reihe von Fixierungsflüssigkeiten geprüft und schließlich ein Gemisch, bestehend aus gleichen Teilen Glyzerin, mit Dahlia gesättigt, und 2%-iger Kochsalzlösung, als besonders geeignet gefunden.

Von dieser Lösung wird etwas auf einen Objektträger übertragen und ein frei austretender Blutstropfen sofort mit der Lösung in Berührung gebracht. Dann wird ein mikroskopisches Präparat hergestellt und zunächst geprüft, ob sich die Blutplättchen frei durch das Gesichtsfeld bewegen können und möglichst gleichmäßig verteilt sind. Ist dies der Fall, dann wird das Verhältnis der Thrombozyten zu den Erythrozyten festgestellt und nach Bestimmung der absoluten Zahl der Erythrozyten in der Zählkammer die Thrombozytenzahl berechnet.

Die Autoren fanden das Verhältnis Thrombozyt : Erythrozyten im Durchschnitt 1:8,5, auf 5,40 Millionen Erythrozyten in 1 cmm Blut kamen 635300 Thrombozyten, eine Zahl, welche nur noch von der von G. T. Kemp und H. Calhoun gefundenen Zahl (S. 144) übertroffen wird. Die hohe Zahl läßt diese Methode besser erscheinen als die bisher genannten.

4. Die Methode von Determann (1898)[6]).

Die Methode von Determann hat wie die seiner unmittelbaren Vorgänger die Feststellung des Verhältnisses Thrombozyt: Erythrozyten und die Ermittlung der absoluten Zahl der letzteren zur Berechnung der Zahl der ersteren zum Ziel; die Mischung des Blutes mit einem Tropfen der Zusatzflüssigkeit wurde aber auf dem Finger mit Hilfe des Deckglases der Thoma-Zeißschen Zählkammer vorgenommen und

1) R. Fusari, Lit.-Verzeichnis 1886, 3, S. 241.
2) R. Muir, Lit.-Verzeichnis 1891, 2, S. 259.
3) J. Salvioli, Lit.-Verzeichnis 1891, 9.
4) L. Pizzini, Lit.-Verzeichnis 1894, 5.
5) T. G. Brodie and A. E. Russell, Lit.-Verzeichnis 1897, 2, S. 392 und 395.
6) Determann, Lit.-Verzeichnis 1898, 10, S. 367.

das verdünnte Blut wohl auch mit dem Deckglas in die Zählkammer übertragen, was originell wäre. Als Zusatzflüssigkeit wurde meistens mit Methylviolett gefärbte 0,9%-ige Kochsalzlösung verwendet (auf 10 g Kochsalzlösung 1 Tropfen konzentrierter wäßriger, gut filtrierter Farbstofflösung). Besonders muß darauf geachtet werden, daß alle Schichten des Präparates durchsucht werden.

Determann fand das Verhältnis Thrombozyt: Erythrozyten im Durchschnitt wie 1:22, was entschieden zu niedrig ist.

5. Die Methode von G. T. Kemp und H. Calhoun (1901)[1].

Zur Fixierung der Blutplättchen und zur Verdünnung des Blutes wird eine Formaldehyd-Kochsalzlösung benutzt, welche aus 10 ccm 40%-iger Formaldehydlösung und 150 ccm 1%-iger Kochsalzlösung besteht und mit Methylviolett oder Methylgrün gefärbt ist. Als Vorzug dieser Lösung wird gerühmt, daß sie die Blutplättchen und roten Blutkörperchen rapid fixiert, ohne sie zu verklumpen, daß sie im Blute keinen Niederschlag erzeugt, eine geringe Dichte besitzt, Anilinfarben löst, steril bleibt und dabei wohlfeil und leicht herzustellen ist. Von dieser Lösung wird eine kleine Menge in ein Uhrschälchen übertragen.

Nach sorgfältiger Reinigung und Desinfektion der Haut wird etwas distal vom Nagelbett des Zeigefingers, und zwar auf der Daumenseite desselben, ein Schnitt erzeugt, der zuerst austretende Tropfen Blut mit einem reinen weichen Tuche abgewischt und auf den nächsten mit dem abgerundeten Ende eines Glasstabes Verdünnungsflüssigkeit gebracht und sorgfältig gemischt oder auch die Wunde mit dem etwas größeren Quantum Verdünnungsflüssigkeit, das sich im Uhrschälchen befindet, in Berührung gebracht und gleichfalls gemischt.

Dann wird die Blutmischung mit dem Glasstabe in die Thoma-Zeißsche Zählkammer übertragen und mit dem Deckglase bedeckt. Die Verdünnung soll derart sein, daß die Erythrozyten die Thrombozyten nicht zudecken; in einem kleinen Quadrat sollen etwa 1—2 Thrombozyten gelegen sein. Nach 5 Minuten wird das Verhältnis der Thrombozyten zu den Erythrozyten festgestellt und nach Ermittlung der absoluten Zahl der Erythrozyten in einer anderen Zählkammer die Zahl der Plättchen berechnet.

In der zweiten Arbeit wird die Zahl der Plättchen beim Manne zu 862000, bei der Frau zu 833000 angegeben, das Verhältnis Trombozyt: Erythrozyten beim Manne 1:5,8, bei der Frau 1:5,4; das sind die höchsten bisher angegebenen Zahlen. Die hohen Zahlen sprechen für die Brauchbarkeit der Methode.

6. Die Methode von J. H. Pratt (1903)[2].

Die Methode schließt sich an die der Vorgänger an. Der austretende Blutstropfen wird mit 10%-iger Natriummetaphosphatlösung[3]) im Verhältnis

1) G. T. Kemp und H. Calhoun, Lit.-Verzeichnis 1901, 5, S. 83 und 1901, 6, G. T. Kemp, H. Calhoun and C. E. Harris, Lit.-Verzeichnis 1906, 8, S. 1093.
2) J. H. Pratt, Lit.-Verzeichnis 1903, 6, S. 303 und 1905, 10, S. 2002.
3) Wenig haltbar, siehe S. 141 in diesem Handbuch.

1:5 bis 10 auf einem sehr sorgfältig gereinigten Objektträger verrieben. Später hat Pratt von der folgenden Lösung:

Natriummetaphosphat (Merck) 2 g, Kochsalz 0,9 g, dest. Wasser 100 ccm, etwas in eine Platinöse aufgenommen und damit den austretenden Tropfen Blut berührt. Die Verdünnung mit dieser Lösung soll schließlich eine drei- bis mehrfache sein.

Nach der Verdünnung und Übertragung in die Zählkammer wird ein sehr reines Deckglas aufgelegt, mit dem Ehrlichschen Okular[1]) (S. 103) und einer Immersionslinse das Verhältnis Thrombozyt: Erythrozyten in zwei Präparaten und nach guter Übereinstimmung die absolute Zahl der Erythrozyten in der Zählkammer ermittelt.

Bei einem 25-jährigen Arbeiter mit Neurasthenie ergab sich bei Zählungen an 5 Tagen ein Mittelwert von 419000 (min. 346000, max. 469000); die Zahl der gleichfalls gezählten Erythrozyten schwankte aber auch beträchtlich zwischen 4,16 und 4,96 Millionen, Mittel 4,57. Später fand Pratt bei vergleichenden Zählungen mit seiner Methode höhere Werte als mit allen andern (S. 2002 der zweiten Arbeit).

Das Verreiben bzw. Mischen mit einem Instrument, an welchem Plättchen hängen bleiben, muß bei dieser Methode Bedenken erwecken.

7. Die Methode von M. Aynaud (1909)[2]).

Zur Stabilisierung der Blutplättchen, welche die Verhinderung der Blutgerinnung und der Agglutination voraussetzt, wird eine Lösung von

8‰-iger Kochsalzlösung	80 ccm
10%-iger Natriumzitratlösung	20 „ ,

zur Fixierung der Plättchen eine Lösung von

8‰-iger Kochsalzlösung	80 ccm
Formol des Handels	20 „

benutzt.

Von der ersteren Lösung werden 2 ccm in ein paraffiniertes Schälchen gebracht, worauf man 1 Tropfen Blut in die Lösung fallen läßt und mit paraffinierter Pipette mischt. Das Blut darf aber nicht mit Gewebsflüssigkeit in Berührung kommen; es wird daher mit paraffinierter Nadel, welche 2%-ige Natriumzitratlösung enthält, aus einer Vene oder Arterie entzogen. Dann fügt man 2 ccm der Formollösung zu und bringt nach der Mischung einen Tropfen des Gemisches in die Thoma-Zeißsche Zählkammer. Darauf wartet man 20–30 Minuten, bis sich die Blutplättchen gesenkt haben, stellt dann das Verhältnis zu den gut konservierten roten Blutkörperchen und mit Hilfe einer Erythrozytenzählung auch die absolute Zahl der Plättchen in 1 cmm Blut fest. Es empfiehlt sich nicht, die Plättchen, statt sie auf die Erythrozyten, auf die Leukozyten zu beziehen.

Die Schwierigkeit bei der Zählung ist besonders die, alle Plättchen voneinander zu isolieren, was nach dem Autor beim Blute des Hundes und Esels leicht ist, weniger leicht beim Kaninchen und der Katze, sehr schwer beim Meerschweinchen und der Ratte (S. 169 seiner Arbeit).

1) Auch ein Kartenblatt mit entsprechendem Ausschnitt kann Verwendung finden.
2) M. Aynaud, Lit.-Verzeichnis 1909, 9, S. 167.

Die Methode berücksichtigt fast alle die Umstände, welche die Zählung der Plättchen so sehr erschweren. Nach den Erfahrungen des Verfassers überschätzt aber der Autor die Bedeutung der Gewebsflüssigkeit.

Auch im möglichst gleichmäßig ausgebreiteten und gefärbten Trockenpräparate kann die relative Zahl der Thrombozyten festgestellt werden. Am besten eignet sich in diesem Falle zum Ausbreiten des Blutes die Deckglasmethode; man nimmt das Tröpfchen Blut ganz zwischen zwei Deckgläschen auf und zählt nach Trocknung, Fixierung und Färbung auf beiden Deckgläschen (S. 81).

8. Die Methode von H. Rabl (1896)[1].)

Nach diesem Autor färben sich die Plättchen mit der von M. Heidenhain zur Darstellung von Zentrosomen angegebenen Methode elektiv.

Zur Fixierung der lufttrockenen Deckglaspräparate muß eine Sublimatlösung — eine $^3/_4$ $^0/_0$-ige Kochsalzlösung mit Sublimat gesättigt — verwendet werden. In dieser Lösung verbleiben die Deckgläschen $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde, werden dann gut in destilliertem Wasser abgewaschen und in eine Eisensalzlösung übertragen. Als solche kann nach der Vorschrift Heidenhains eine 1 $^1/_2$ $^0/_0$-ige Eisenalaunlösung, nach dem Vorschlage Bendas der Liquor ferri sulf. oxydat., der vor dem Gebrauche mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt wird, verwendet werden.

Die Präparate verbleiben eine Stunde in der Eisenoxydsalzlösung, werden dann flüchtig in destilliertem Wasser abgespült und für $^1/_2$—1 Stunde in gesättigte, wäßrige Hämatoxylinlösung, welche vor dem Gebrauche jedesmal frisch angefertigt werden soll, übertragen. Nachdem sich darin alle Elemente des Präparates blauschwarz gefärbt haben, kommt das Deckglas zur Differenzierung in eine sehr verdünnte Lösung desselben Eisensalzes, welches als Beize gedient hat. Hier entweichen rasch die schwarzen Wolken des Farbstoffes, und schon nach $^1/_4$—$^1/_2$ Minute zeigt das Präparat dieselbe graugelbe Farbe, welches es vor der Behandlung mit Hämatoxylin besessen hatte. Nun kommt das Deckglas zur Entfernung des Eisensalzes in destilliertes Wasser, wird getrocknet und eingeschlossen. Will man die roten Blutkörperchen noch besonders hervorheben, so kann man dies jetzt durch irgend einen sauren Anilinfarbstoff besorgen; am besten eignet sich hierzu wohl Pikrinsäure oder Aurantia als Kontrastfarben zum blauschwarzen Ton der Blutplättchen. Auch die Leukozyten sind gefärbt.

In dem so hergestellten Präparate wird das Verhältnis Thrombozyten: Leukozyten ermittelt und nach einer Leukozytenzählung in der Kammer die absolute Zahl der Thrombozyten für 1 cmm Blut berechnet.

Da die Leukozytenzählung mit einem größeren Fehler behaftet ist als die Erythrozytenzählung, so sollte an Stelle der ersteren die letztere treten.

---

1) H. Rabl, Lit.-Verzeichnis 1896, 2.

Zur Färbung der Blutplättchen im Trockenpräparate empfehlen P. Argutinsky[1]) und K. Preisich und P. Heim[2]) die Methode von Romanowsky, der folgende Autor, G. Vallet, verwendet die Methode von Giemsa[3]).

9. Die Methode von G. Vallet (1907)[4]).

Zunächst wird die Zahl der Leukozyten in der Zählkammer bestimmt.

Dann wird auf das Nagelbett des Daumens ein Tropfen 1 $^{0}/_{0}$-ige wäßrige Osmiumsäurelösung gebracht und durch den Tropfen hindurch die Haut angestochen. Mit einer fein ausgezogenen Pipette saugt man darauf etwas Blutmischung an, überträgt einen sehr kleinen Tropfen auf einen Objektträger, breitet ihn dort aus und läßt trocknen. Nach halbstündiger Fixierung in absolutem Alkohol färbt man mit Giemsalösung (je 1 Tropfen der unverdünnten Lösung auf 1 ccm Wasser) und läßt diese 2 Stunden lang in Kontakt mit dem Blute, worauf man mit Wasser abspült und trocknet.

Mit der Immersionslinse zählt man nun in 15—30 Gesichtsfeldern die Thrombozyten und Leukozyten zur Ermittelung des Zahlenverhältnisses und berechnet dann unter Berücksichtigung der absoluten Zahl der Leukozyten die absolute Zahl der Thrombozyten.

Bei einem Rückblick auf die beschriebenen Methoden zur Zählung der Thrombozyten ergibt sich folgendes. Wenn auch einzelne der Methoden, wie an Ort und Stelle erwähnt, schon fast allen Anforderungen genügen, so hat Verfasser unter ihnen doch keine gefunden, welche das Problem der Thrombozytenzählung völlig löst.

Daß Pipetten zur Verdünnung des Blutes nicht verwendet werden dürfen, ist klar, der rasch und ohne besonderen Druck austretende Blutstropfen muß direkt in die Verdünnungs- und Konservierungsflüssigkeit aufgenommen werden. Als solche ist die Brodie-Russellsche, die Kemp-Calhounsche und die Aynaudsche schon recht geeignet. Die Verdünnungsflüssigkeit muß unbedingt das Festsetzen der Plättchen am Glase, ihre Agglutination und ihren Zerfall verhindern, dann kann das verdünnte Blut auch mit relativ weiten Pipetten in die Zählkammer ohne Bedenken übertragen werden.

Dort ist das Verhältnis der Erythrozyten zu den Thrombozyten in den Quadraten von $^{1}/_{400}$ qmm festzustellen, wobei man sich aber überzeugen muß, ob die Thrombozyten sich alle auf die Zählfläche gesenkt haben. Eine Schwierigkeit, die kaum eine der beschriebenen Methoden beseitigt, ist die sichere Entscheidung, ob in der Tat in jedem Falle ein Blutplättchen oder nicht etwa ein Schmutzplättchen oder Farbstoffkörnchen vorliegt. Am besten hat sich Verfasser von Farbstoffen Dahlia zur Hervorhebung der Plättchen bewährt. Viel besser als zur Zahl der weißen wird man die Plättchen zur Zahl der roten Blutkörperchen in Beziehung setzen.

Zu dem Fehler, welcher der Feststellung des Verhältnisses Erythro-

1) P. Argutinsky, Lit.-Verzeichnis 1901, 8, S. 553.
2) K. Preisich und P. Heim, Lit.-Verzeichnis 1904, 12, S. 48.
3) Siehe S. 99 dieses Handbuches.
4) G. Vallet, Lit.-Verzeichnis 1907, 7.

zyten: Thrombozyten anhaftet, addiert sich der Fehler der Erythrozytenzählung; man wird daher mit einem Gesamtfehler von etwa 5% zu rechnen haben, wenn man ungefähr 2000 Erythrozyten und die entsprechende Anzahl Thrombozyten zählt.

Auch in zwei zusammengehörigen und nach Giemsa kräftig gefärbten Deckglaspräparaten ist die Feststellung des Verhältnisses Erythrozyten: Thrombozyten möglich, wobei freilich die Entscheidung nicht immer leicht ist, ob man ganze Plättchen oder nur Trümmer von solchen vor sich hat. In dem nach Vallet hergestellten Präparate kann allerdings ein Zweifel weniger aufkommen, die Thrombozyten sind in diesem auffallend groß und gut gefärbt, aber die Erhaltung und gleichmäßige Verteilung der Erythrozyten läst zu wünschen übrig.

Das Ziel weiterer Bemühungen auf diesem Gebiete muß also sein, bei den Thrombozyten die Neigung zum Festsetzen am Glase, zur Agglutination und zum Zerfall zu beseitigen und sie doch unter gleichzeitiger Erhaltung und gleichmäßiger Verteilung der Erythrozyten so zur Zählung zu bringen, daß sie als solche rasch und sicher erkannt werden können.

Die Ermittelung der Zytenquotienten Erythrozyten: Thrombozyten bzw. Leukozyten: Thrombozyten hat, abgesehen davon, daß diese Ermittlung zur Zählung der Thrombozyten dient, wenig Wert, da die Thrombozyten nach den bisherigen Erfahrungen als selbständige Elemente in keiner festen Beziehung zu den anderen körperlichen Elementen des Blutes stehen.

Über eine Reihe von Momenten, welche Einfluß auf die Thrombozytenzahl haben, ist vor allem die öfters erwähnte Arbeit von M. Aynaud einzusehen.

VI. Leitsätze zur Differenzierung und Zählung der körperlichen Elemente des Blutes.

A. Gesamtblut.

1. Von den körperlichen Elementen des Blutes gehören die Erythrozyten und die Leukozyten mit Ausnahme der Lymphozyten zum myeloischen, die Lymphozyten zum lymphatischen System. Die Herkunft der Thrombozyten ist zweifelhaft. Die Hämokonien sind meist Fetttröpfchen, auch Kernreste und losgelöste Granula sollen in Betracht kommen.

2. Der Ort der Bildung dieser körperlichen Elemente ist das myeloische Gewebe, hauptsächlich das Knochenmark, einerseits und das lymphatische Gewebe anderseits. In embryonalen Zeiten kommt insbesondere auch noch die Leber als Bildungsstätte in Betracht. Metaplastisch können myeloide Herde in anderen Organen auftreten und lymphatisches Gewebe sich auch im Knochenmark vorfinden.

3. Die Elemente des myeloischen Systems unterscheiden sich von denen des lymphatischen Systems dadurch, daß sie Träger von Fermenten sind und die Winkler-Schultzesche Indophenolblaureaktion geben. Bei der leukozytären Stammzelle des myeloischen Systems, dem Myeloblasten (O. Naegeli), kann diese Reaktion ausbleiben.

4. Die Zusammensetzung des Blutes in bezug auf die körperlichen Ele-

mente ist vom Alter, Geschlecht und Funktionszustande des Körpers abhängig, es kann unter Umständen Polyzythämie oder Oligozythämie bestehen.

5. Unmittelbar nach der Geburt und in den ersten 14 Lebenstagen ist das Blut reich an Erythrozyten, Leuko- und Thrombozyten, um mit zunehmendem Alter nach gesetzmäßigen Schwankungen wieder ärmer daran zu werden. Beim Erwachsenen ist, relative Ruhe des gesamten Körpers, auch Verdauungsruhe, vorausgesetzt, der Gehalt des Blutes bezüglich der Art und Zahl der körperlichen Elemente auch in den verschiedenen Gefäßprovinzen ein konstanter. Gesetzmäßige Schwankungen im Laufe eines Tages sind unter diesen Umständen nicht nachzuweisen.

6. In geschlechtsreifen Jahren ist beim männlichen Geschlechte der Gehalt des Blutes an körperlichen Elementen größer als beim weiblichen. Bei ganz jungen und ganz alten Individuen sind diese Unterschiede überhaupt nicht oder nicht in dem Maße ausgesprochen.

7. Etwaige Änderungen im Gehalte treffen die Leukozyten, welche die Gefäße verlassen können, und die Thrombozyten, welche so außerordentlich klebrig und verletzlich sind, eher als die Erythrozyten.

8. Bei gesteigerter einseitiger Funktion des Körpers und damit zusammenhängender verschiedener Verteilung des Blutes unter vasomotorischen Einflüssen kann sich der Gehalt in verschiedenen Gefäßprovinzen ändern, bei engen Gefäßen nimmt die Zahl der körperlichen Elemente ab, bei weiten zu (Cohnstein und Zuntz). Auch äußere Einflüsse wie Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit, Insolation und Dunkelheit können auf dem Umwege über die Vasomotoren verändernd auf den Gehalt wirken.

9. Nach starken Blutverlusten, in Krankheiten, besonders der blutbereitenden Organe, und unter dem Einfluß chemischer Stoffe kann die Art und Zahl der körperlichen Elemente wesentlich von der Norm verschieden sein. Bei besonders starker Reizung der blutbereitenden Organe kann dabei ein Rückschlag in die embryonale Blutbildung stattfinden, kenntlich an dem Auftreten ontogenetisch und phylogenetisch älterer Elemente.

10. Während der Schwangerschaft und nach der Geburt ist der Gehalt des mütterlichen Blutes in bezug auf die körperlichen Elemente sehr viel geringeren Schwankungen unterworfen als der des fötalen. Im Blute des Neugeborenen geht von dem Momente der Geburt an eine wahre Revolution in bezug auf die körperlichen Elemente vor sich.

B. Erythrozyten.

11. Die Vorstufen der normalen kernlosen Erythrozyten, der Normozyten, sind die kernhaltigen Erythroblasten, und zwar die ontogenetisch älteren Megaloblasten und die jüngeren Normoblasten. In den letzten Embryonalwochen verschwinden die Erythroblasten fast ganz aus dem Blute. Der Kern der Erythroblasten wird hauptsächlich durch Karyolyse beseitigt.

12. Beim Rückschlag in die embryonale Blutbildung treten als Ausdruck derselben Megalozyten und Megaloblasten im Blute auf.

13. Unreife Erythrozyten färben sich nicht, wie reife Formen, orthochromatisch, d. h. rot im Tone des sauren Farbstoffes, des Eosins, sondern ihrer mehr oder weniger großen Basophilie wegen mehr oder weniger blau



polychromatisch, im Tone des Methylenblaus. In besonderen Fällen sind basophile Kernreste, Howell-Jollysche Körper, basophile Punktierung und Cabot-Schleipsche Ringkörper nachweisbar.

14. Kernhaltig sind alle Erythroblasten, kernhaltig bleiben zeitlebens die Erythrozyten der Fische, Amphibien, Reptilien und Vögel. Kernlos sind die Erythrozyten der Säugetiere und des Menschen.

15. Der Gestalt nach sind die Erythrozyten des Menschen und der Säugetiere runde bikonkave Scheiben, nur eine Säugetiergruppe, die Tylopoden (Kamel, Lama, Alpakka), hat elliptische bikonvexe Erythrozyten. Auch die Erythrozyten der übrigen Wirbeltiere sind elliptisch und bikonvex, nur bei den Zyklostomen kommen runde Erythrozyten vor.

16. Der Längsdurchmesser der Scheibe beträgt beim Menschen 7,5 μ, kleinere Erythrozyten werden Mikro-, größere Makro- oder Gigantozyten genannt. Bei den Säugern und den übrigen Wirbeltieren schwankt der Durchmesser zwischen 2,5 μ (Moschustier) und 77 : 47 μ (Lurch Amphiuma).

17. In besonderen Fällen kann die Gestalt und Größe der Erythrozyten eine sehr wechselnde sein, statt Isozytose kann Anisozytose oder Poikilozytose bestehen. Die Poikilozyten werden, weil sie nach P. Ehrlich durch Abschnürung aus Erythrozyten hervorgehen, auch Schistozyten genannt.

18. In besonderen Fällen kann auch der Gehalt der Erythrozyten an rotem Blutfarbstoff ein abnormer sein, statt Isochromie kann Anisochromie in Form von Hypo- und Hyperchromie bestehen. Die Megaloblasten sind durch besonderen Reichtum an Hämoglobin ausgezeichnet. Der Gehalt eines Erythrozyten an Hämoglobin beträgt nach neueren Untersuchungen beim Menschen etwa $30 \cdot 10^{-12}$ g.

19. Unmittelbar nach der Geburt ist die Zahl der Erythrozyten größer als in allen späteren Lebenszeiten. In den drei ersten Lebenstagen, in welchen das Gewicht des Kindes abnimmt, steigt die Zahl noch etwas (bis zu 7 Millionen in 1 cmm Blut beim Menschen), um dann wieder mit zunehmendem Gewichte des Kindes zuerst rascher dann langsamer abzunehmen und im 1. Jahrzehnt ein Minimum (4,5 Mill.) zu erreichen. Von da an erhebt sich die Zahl langsam bis ins 3.—5. Jahrzehnt (5,5 Mill.), um dann wieder abzusinken (5,0 Mill.). Häufig wird im hohen Alter nochmals eine geringe Zunahme beobachtet.

20. In der Zeit der Geschlechtsreife ist die Zahl der Erythrozyten beim männlichen Geschlechte größer (5,0 Mill. in 1 cmm, bei 65 kg Körpergewicht und $\frac{1}{20}$[1]) dieses Gewichtes zirkulierendem Blut 16 Billionen insgesamt) als beim weiblichen (4,5 Mill.). Vor und nach dieser Zeit nähern sich die Werte bei beiden Geschlechtern einander. Beim weiblichen Geschlechte ist daher die Zahl beim Eintritt der Menstruation und der Menopause den entsprechenden Schwankungen unterworfen.

21. Wesentliche Unterschiede im Erythrozytengehalt des Blutes verschiedener Menschenrassen sind bisher noch nicht nachgewiesen worden. In den Tropen ist die Erythrozytenzahl der Europäer nicht wesentlich von der in der Heimat verschieden.

1) Nach neueren Angaben.

22. Bei den verschiedenen Tieren steht im allgemeinen die Zahl der Erythrozyten einerseits und die Größe und der Hämoglobingehalt der Erythrozyten andererseits im umgekehrten Verhältnis zueinander. Die extremen Zahlen sind 14 Millionen beim Lama und 36 Tausend bei Proteus (H. Welcker).

23. Unter Umständen kann es zu abnorm großer Erythrozytenzahl, zu Erythrozytose, oder zu abnorm kleiner, Erythropenie, kommen.

24. Je größer das Sauerstoffbedürfnis der verschiedenen Tiere ist, um so kleiner, aber um so zahlreicher sind im allgemeinen die Erythrozyten im Blute, und um so größer ist damit die Oberfläche, auf welche das sauerstoffübertragende Hämoglobin ausgebreitet ist. Vögel enthalten in 1 cmm Blut zwar weniger Erythrozyten als Säugetiere, aber bei der Größe und dem Hämoglobinreichtum der Vogelerythrozyten ist der Gehalt von 1 cmm Blut an Hämoglobin doch größer als bei den Säugetieren (H. Welcker).

25. Beim Murmeltier beträgt die Zahl im wachen Zustande 7,7, im Winterschlafe dagegen nur 2,4 Millionen (K. Vierordt).

26. Die Oberfläche eines menschlichen roten Blutkörperchens hat H. Welcker zu 0,000128 qmm angenommen, die 5 Millionen in 1 cmm Blut bieten daher dem Sauerstoff eine Oberfläche von 6,4 qcm und die 16 Billionen im zirkulierenden Blut eine solche von 2048 qm dar, das ist ein Quadrat von 45 m Seite.

27. Bei Sauerstoffhunger, wie unter stark vermindertem Luftdruck, im Höhenklima, beim Gebrauch der Kuhnschen Lungensaugmaske und bei Stauungen im Blutkreislauf nimmt die Zahl der roten Blutkörperchen im Blute zu. Nach Zufuhr von reichlichem Sauerstoff nimmt die Zahl wieder ab. (F. Miescher, Naunyn, A. v. Korányi.)

28. Tritt durch Vasokonstriktion eine Verschiebung des Blutes aus einem relativ untätigen Körperteil in einen tätigen ein, so enthält das aus stärker verengten Gefäßen entzogene Blut weniger Erythrozyten.

29. Nach den Mahlzeiten zeigt die Erythrozytenzahl ein Maximum, einige Zeit darauf ein Minimum.

30. Selbst bei reichlicher Flüssigkeitsaufnahme und Flüssigkeitsabgabe des Körpers tritt, sofern Niere, Lunge und Haut gut funktionieren und genügend Gewebsflüssigkeit vorhanden ist, eine wesentliche Änderung in der Erythrozytenzahl des Blutes nicht ein.

31. Unter dem Einflusse intensiven Lichtes treten Schwankungen im Gehalte des Blutes an Erythrozyten auf (H. P. T. Oerum). Lichtstrahlen besonders unter 310 $\mu\mu$ Wellenlänge lösen Erythrozyten auf, ein Vorgang, der durch Farbensensibilisatoren beschleunigt wird (K. A. Hasselbalch).

32. Durch Einwirkung hämolytischer Stoffe wie der Hämolysine des artfremden Blutes, des Schlangengiftes (Kobragift), des Giftes der Speisemorchel (Helvella esculenta), der Helvellasäure, und des Arsenwasserstoffs kann die Zahl der intakten Erythrozyten herabgesetzt werden.

33. Im Hunger verändert sich weder das Verhältnis der Blutmenge zum Körpergewicht noch das relative Verhältnis der roten Blutkörperchen oder des Farbstoffs in den Körperchen in auffallender Weise. Die absolute Menge des Blutes und damit der Körperchen nimmt allerdings ab. Nach Nahrungs-



aufnahme erfolgt die Wiederherstellung der Gesamtmasse des Körpers rascher als die Neubildung der Körperchen (P. L. Panum). Das Hämoglobin wird langsamer aufgezehrt, aber auch langsamer ergänzt als die anderen Bestandteile.

34. Nach Blutverlusten verarmt das Blut durch eintretende Gewebsflüssigkeit um so mehr an Erythrozyten, je stärker der Blutverlust war.

35. Da die Erythrozytenzahl nach Blutverlusten weniger stark abnimmt als der Hämoglobingehalt des Blutes, so müssen hämoglobinärmere Erythrozyten in Zirkulation geraten.

36. Bei Hunden wird nach einem Blutverluste von 4 % des Körpergewichtes etwa am 4. Tage die niederste Erythrozytenzahl erreicht, die Zahl steigt dann allmählich wieder an, um am 25. Tage durchschnittlich wieder normal zu sein. Bei Kaninchen bewirken schon relativ geringe Blutverluste eine starke Abnahme der Erythrozytenzahl (J. F. Lyon). Nach Blutverlusten treten polychromatophile Erythrozyten und Erythroblasten vorübergehend im Blute auf.

37. Erniedrigungen des arteriellen Blutdruckes durch Blutverluste, welche den Tod zur unmittelbaren Folge haben, bedingen keine stärkere Herabsetzung der Erythrozytenzahl des Blutes als bis auf etwa 88 % der Norm.

38. Eine Herabsetzung der Erythrozytenzahl auf 1,5 Millionen in 1 cmm Blut braucht den Tod noch nicht im Gefolge zu haben, als unterste Grenze wurde 0,5 Millionen beobachtet (S. T. Sörensen).

39. Bei der Regeneration kehrt die Erythrozytenzahl rascher zur Norm zurück als der Hämoglobingehalt, es zirkulieren also unter diesen Umständen hämoglobinärmere Erythrozyten.

40. Eiweißreiche Nahrung, Eisen- und Arsenpräparate üben einen günstigen Einfluß auf diese Regeneration aus.

41. In der Schwangerschaft nimmt die Erythrozytenzahl des mütterlichen Blutes nicht wesentlich zu. Im fötalen Blute treten die roten Blutkörperchen früher auf als die weißen; die Zahl der ersteren ist in den ersten Zeiten der Fötalperiode kleiner als im mütterlichen Blute, nimmt aber mit der Reife des Fötus zu, um am Ende der Fötalperiode die Zahl des mütterlichen Blutes zu erreichen oder zu übertreffen. Das Geschlecht des Fötus ist ohne Einfluß. Die Zusammensetzung des fötalen Blutes ist also von der des mütterlichen unabhängig (P. L. Panum).

42. Bei späterer Abnabelung ist die Erythrozytenzahl im kindlichen Blute größer als bei früherer. Bei weiterem Wachstum hält die Vermehrung der Blutkörperchen nicht mit der Massenzunahme der übrigen Gewebe Schritt (P. L. Panum).

43. In pathologischen Fällen kann die Erythrozytenart und -zahl wesentlich verändert sein; neben reifen können die erwähnten unreifen Formen auftreten, neben abnorm niedrigen Zahlen (Erythropenie) können abnorm hohe (Erythrozytose) vorkommen. Extreme Werte, welche bisher beobachtet wurden, sind 0,5 und 13,8 Millionen beim Menschen. Erkrankungen der blutbereitenden Organe, Eingeweidewürmer, chemische Intoxikationen mit Blei können besonders modifizierend auf Art und Zahl wirken.



C. Leukozyten.

44. Die Leukozyten sind Abkömmlinge des lymphatischen Gewebes (Lymphozyten) und des myeloischen Gewebes (große Mononukleäre und Übergangsformen, polymorphkernige neutro-, azido- und basophile Leukozyten). Die beiden Gruppen unterscheiden sich abgesehen von morphologischen Merkmalen dadurch, daß die Angehörigen des myeloischen Systems Träger von oxydierenden, peptischen, diastatischen, autolytischen Fermenten und Antitoxinen sind, die des lymphatischen Systems aber nicht.

45. Die Vorstufen dieser Leukozyten sind die Lymphoblasten einerseits und die neutro-, azido- und basophilen Myelozyten andererseits (P. Ehrlich). Die Stammform der granulierten Myelozyten ist der ungranulierte Myeloblast (O. Naegeli). Auch die Mononukleären und Übergangsformen sind Abkömmlinge des myeloischen Gewebes (P. Ehrlich, O. Naegeli). Im embryonalen Blute sind zuerst wenig Leukozyten, reichlicher Myeloblasten und Myelozyten vorhanden.

46. In besonderen Fällen treten pathologische Lymphoblasten, die sogenannten Riederformen und Verwandte der Lymphzellen, die Plasmazellen, im Blute auf. Pathologische Myeloblasten sind die Türkschen Reizungsformen. Auch die im Knochenmark befindlichen Riesenzellen, die Megakaryozyten, können unter Umständen mobil werden und ins Blut gelangen.

47. Je jünger die Leukozyten sind, um so kompakter und runder ist der Kern. Mit zunehmendem Alter wird die Kernsubstanz lockerer und segmentiert sich immer mehr. Ein Kriterium der Jugend ist auch die Basophilie des Protoplasmas und seiner Bestandteile.

48. Bei den einzelnen Arten der granulierten Leukozyten ist die reife Granulation eine spezifische, alle unreifen Granula haben aber das Gemeinsame, daß sie zur Basophilie neigen.

49. Azido- bzw. eosinophile und basophile Granula kommen beim Menschen und allen Wirbeltieren vor. Neben diesen Allgemeingranula gibt es auch noch Spezialgranula, wie neutrophile Granula bei Mensch und Affe. An Stelle der neutrophilen Granulation ist bei manchen Tieren (Kaninchen, Vögel) die pseudoeosinophile vorhanden. Statt eosinophilen Körnchen trifft man bei manchen Tieren (Katzen, Kaninchen, Vögel) auch eosinophile Stäbchen. Die basophilen Granula sind besonders leicht wasserlöslich, die eosinophilen sollen Eisen enthalten. Jodophile Substanzen (Glykogen) sind insbesondere im Protoplasma der neutrophilen Leukozyten nachweisbar (P. Ehrlich).

50. All diese normalerweise zirkulierenden Leukozyten sind der amöboiden Bewegung und Phagozytose fähig, die Lymphozyten aber viel weniger als die anderen Arten. Die Vorstufen dieser Leukozyten zeigen die Bewegung kaum. Die Eigenbewegung der Leukozyten, die auch zum Verlassen der Blutgefäße führen kann, ist ihrer gleichmäßigen Verteilung im Blute hinderlich.

51. Von allen Leukozyten sind die Lymphozyten die kleinsten Elemente, etwa so groß wie Erythrozyten (7,5 μ), die großen Mononukleären und Übergangsformen sind dagegen die größten Elemente (bis zu 20 μ), dazwischen



liegen ihrer Größe nach die übrigen Leukozyten. Größer als die reifen sind die unreifen Formen. Durch Quellung können die überreifen Formen wieder etwas an Größe zunehmen.

52. Die Gesamtzahl der Leukozyten beträgt beim erwachsenen Menschen 6—8000 in 1 cmm Blut. Im Gesamtblut sind etwa 22 Milliarden enthalten. Auf 700 Erythrozyten kommt durchschnittlich 1 Leukozyt. Unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen kann die Zahl zunehmen, Leukozytose, oder abnehmen, Leukopenie.

53. Von der Gesamtzahl der Leukozyten in 1 cmm menschlichem Blut sind 1500—2000 oder 20—25% Lymphozyten, 200—400 oder 3—5% große Mononukleäre und Übergangsformen, 4500—5000 oder 60—70% neutrophile, 100—200 oder 2—4% azidophile und nur 50 oder 0,5% basophile Leukozyten.

54. Beim neugeborenen Menschen ist die Leukozytenzahl 2—3 mal größer als beim Erwachsenen. Mit zunehmendem Alter sinkt die Zahl bei beiden Geschlechtern bis ins 4. Jahrzehnt, um im höheren Alter wieder kontinuierlich anzusteigen. Die Leukozytenzahl in 1 cmm Blut des Neugeborenen ist stets größer als in 1 cmm Blut der Mutter (H. Rieder).

55. Vermehrt sind beim Neugeborenen besonders die Lymphozyten, welche 70% der Leukozyten ausmachen gegenüber 20—25% beim Erwachsenen; auch die eosinophilen Leukozyten sind in größerer Zahl vorhanden (H. Rieder, R. Dunger).

56. Zur Zeit der Geschlechtsreife ist die Zahl der Leukozyten beim männlichen Geschlechte größer als beim weiblichen, vor und nach dieser Zeit ist ein solcher Unterschied nicht nachzuweisen. Während der Menstruation sind die Leukozyten vermehrt.

57. Die Leukozytenzahl in 1 cmm Blut der verschiedenen höheren Tiere hält sich etwa auf der Höhe der Zahl des Menschen.

58. Der Gehalt des Blutes an Leukozyten ist in den verschiedenen Gefäßprovinzen größeren Schwankungen unterworfen als der Gehalt an Erythrozyten. Durch Festhalten von Leukozyten in bestimmten Organen kann es dort zu einer Überladung des Blutes, in anderen Organen zu einer Verarmung des Blutes an Leukozyten kommen.

59. Nach A. Goldscheider und P. Jacob ist aber die Schulzsche Theorie, daß bei Leukopenie in peripheren Gefäßen Leukozytose in zentralen und umgekehrt besteht, nicht richtig; in den peripheren Gefäßen ist vielmehr stets eine größere Anzahl von Leukozyten vorhanden als in den zentralen. Bei Vermehrung in der Peripherie kommt es aber auch zu einer entsprechenden Vermehrung im Zentrum.

60. Nach Mahlzeiten, Bädern und Anstrengungen besteht Leukozytose, der meist eine Leukopenie vorangeht. Die Leukozytose erreicht 3—4 Stunden nach der Mahlzeit ihr Maximum, die Zunahme der Leukozyten beträgt dann 30—40% der Norm. Abgesehen davon, daß bei der Verdauungsleukozytose die eosinophilen Leukozyten abnehmen, besteht keine wesentliche Verschiebung der Arten (H. Rieder).

61. Nach Injektion von Organextrakten der Milz, des Knochenmarks, der Thymus und nach Injektion von Bakterienstoffwechselprodukten kommt es in den peripheren Gefäßen zuerst zu einer Leukopenie durch Ansamm-

lung der Leukozyten in den kleinsten Gefäßen der Lunge, dann zu einer Leukozytose. Auch andere chemische Stoffe wie Kampher, Digitalispräparate und andere Medikamente, ferner die Blutgifte wie chlorsaures Kali und Pyrogallol rufen Leukozytose hervor.

62. Bei den beständig kauenden Pflanzenfressern mit ihrem meist völlig gefüllten Magendarmkanal ist eine Verdauungsleukozytose nicht nachweisbar, wohl aber bei Fleischfressern und Omnivoren, welche die Nahrung periodisch aufnehmen. Beim jugendlichen Organismus ist die Verdauungsleukozytose ausgesprochener als beim erwachsenen. Bei Hunger hat H. Rieder eher eine Leukopenie als eine Leukozytose gefunden.

63. Unter dem Einflusse von Röntgenstrahlen und nach Injektion von Thoriumpräparaten verarmt das Blut an Leukozyten.

64. Nach Blutverlusten steigt die Leukozytenzahl um das 2—5-fache in den nächsten Stunden an und bleibt einige Tage hoch (Lyon). Die Zahl der Leukozyten kehrt viel früher zur Norm zurück als die der Erythrozyten.

65. Vor dem Tode besteht Leukozytose, prämortale Leukozytose.

66. In der Schwangerschaft nimmt die Leukozytenzahl im mütterlichen Blute fast um das Doppelte zu, bei Mehrgebärenden kann die Leukozytose auch ausbleiben. Ein Überwiegen der polymorphkernigen Leukozyten gegenüber den mononukleären hat H. Rieder bei Schwangerschaftsleukozytose nicht beobachtet. Zu einer Verdauungsleukozytose kommt es bei Schwangeren nach Rieder nicht.

67. In pathologischen Fällen kann Art und Zahl der Leukozyten wesentlich verändert sein. Bei der lymphatischen Leukämie herrschen die Lymphozyten und Lymphoblasten vor, bei der myeloischen die Angehörigen des myeloischen Systems und deren Vorstufen. Extreme Leukozytenzahlen sind einige Hundert Leukozyten und bis zu einer Million. Bei der kroupösen Pneumonie ist die Zahl stark vermehrt, bei Typhus stark vermindert.

68. Bei eitrigen Infektionen sind besonders die neutrophilen, bei Scharlach, Heufieber, bei allen Wurmkrankheiten, bei Neurasthenie, bei Hautkrankheiten und in der Rekonvaleszenz von Infektionskrankheiten die eosinophilen Leukozyten, bei Hautkrankheiten auch die Mastzellen vermehrt.

69. Bei regenerativen Prozessen im Knochenmark findet eine Verschiebung des neutrophilen Blutbildes nach links statt, es zirkulieren dann in bezug auf den Kern weniger polymorphe Neutrophile; zirkulieren überwiegend alte Neutrophile mit stark segmentiertem Kern, so besteht eine Verschiebung des Blutbildes nach rechts (J. Arneth).

D. Thrombozyten.

70. Die Thrombozyten sind ohne weiteres morphologisch sehr unbestimmte, verschieden große, aber an sich recht kleine farblose Gebilde, welche durch ihre leichte Veränderlichkeit, sehr ausgesprochene Klebrigkeit und Neigung zur Agglutination gegenüber den anderen körperlichen Elementen des Blutes gekennzeichnet sind.

71. Wird die Blutgerinnung nicht verhindert, so zeigen die Thrombozyten unter Volumenzunahme scholligen Zerfall. Nach M. Aynaud tritt



der Zerfall besonders bei Berührung mit Gewebssäften ein. Die so veränderten Thrombozyten stellen die Gerinnungszentren dar, von welchen die Fibrinfäden ausgehen. Mit dem Fibrin werden die Thrombozyten aus dem Blute entfernt.

72. In peroxydhaltigen Lösungen breiten sich die Thrombozyten zu schönen sternförmigen Zellen mit einem deutlichen Kerne aus. Kommt es zum Zerfall, so betrifft dieser besonders und zuerst den Kern.

73. Auch im ausgebreiteten Zustande ist die Größe der Thrombozyten eine sehr wechselnde, sie können kleiner und größer als Erythrozyten sein.

74. Eine Unterscheidung der Thrombozyten nach Arten hat sich bis jetzt als nicht nötig erwiesen.

75. Es wird angenommen, daß die Thrombozyten von den Megakaryozyten abstammen (Wright), doch ist diese Herkunft noch recht zweifelhaft; jedenfalls sind es selbständige Elemente, die mit den Erythrozyten und Leukozyten direkt nichts zu tun haben. Auch eine Abhängigkeit der Thrombozytenzahl von der Erythro- oder Leukozytenzahl besteht nicht (M. Aynaud).

76. Bei den Wirbeltieren außer den Säugern übernehmen spindelförmige Zellen die Rolle der Thrombozyten.

77. Die Zahl der Thrombozyten beträgt in 1 cmm Blut des erwachsenen Menschen etwa 600000—800000, im Gesamtblute sind etwa 2—2,6 Billionen enthalten (T. G. Brodie und A. E. Russell, G. T. Kemp, M. Aynaud).

78. Das Verhältnis Erythrozyten: Thrombozyten (E:T) beträgt beim Menschen etwa 8,5 (T. G. Brodie und A. E. Russell); beim Hunde hat es M. Aynaud zu 13, beim Kaninchen zu 8,1 gefunden.

79. Beim Neugeborenen ist die Zahl der Thrombozyten groß, nimmt aber mit zunehmendem Alter ab. Das Verhältnis E:T ist beim Neugeborenen kleiner als beim Erwachsenen (M. Aynaud).

80. Beim männlichen Geschlechte fand G. T. Kemp etwas weniger Thrombozyten als beim weiblichen; das Verhältnis E:T betrug im ersten Falle 5,8, im zweiten 5,4.

81. Im Hunger ist die Zahl der Thrombozyten bedeutend vermindert; das Verhältnis E:T beträgt dann bei Hunden etwa 25 (M. Aynaud).

82. Bei Asphyxie ist E:T nicht wesentlich verändert. Nach intravenöser Injektion von kolloidalen Substanzen kann E:T 400—500 werden. Unter dem Einfluß des Höhenklimas nimmt die Zahl der Thrombozyten beträchtlich zu (G. T. Kemp).

83. Nach wiederholten Aderlässen sinkt E:T, eine absolute Vermehrung der Thrombozyten findet aber daraufhin nicht statt. Die Regeneration der Thrombozyten erfolgt rascher als die der Erythrozyten. Die Lebensdauer der Thrombozyten beträgt nur einige Tage (M. Aynaud, W. W. Duke).

84. Entzieht man einem Tiere Blut, defibriniert das Blut und injiziert es dem Tiere wieder, so findet man schließlich nur sehr wenig Thrombozyten im Blute; nach 5—6 Tagen ist ihre Zahl aber wieder regeneriert, ja überschreitet sogar vorübergehend die ursprüngliche Zahl (G. Bizzozero, W. W. Duke).

85. In der Schwangerschaft scheint E:T vermindert zu sein. Da unter diesen Umständen die Erythrozytenzahl sich nicht wesentlich verändert, so

müssen die Thrombozyten vermehrt sein. Beim Fötus ist E:T noch kleiner als beim Neugeborenen (M. Aynaud).

86. In pathologischen Fällen ist der Thrombozytengehalt beträchtlichen Schwankungen unterworfen, eine dauernde Vermehrung wird bei der Chlorose beobachtet. Bei manchen Infektionskrankheiten, wie bei der kroupösen Pneumonie, tritt eine plötzliche Vermehrung (Blutplättchenkrise) ein.

VII. Literaturverzeichnis[1]).

Chronologisch.

1842.

1) 1. H. Nasse, Blut. Wagners Handwörterbuch der Physiologie. Bd. 1, S. 86. Verlag von F. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

1845.

1. Zimmermann, Zur Dynamik des Aderlasses. Archiv für physiol. Heilkunde, Jahrg. 4, S. 122 und 296.

1852.

1. Vierordt, Neue Methode der quantitativen mikroskopischen Analyse des Blutes. Archiv für physiol. Heilkunde, Jahrg. 11, S. 26.

2. Vierordt, Zählungen der Blutkörperchen des Menschen. Archiv für physiol. Heilkunde, Jahrg. 11, S. 327.

5) 3. K. Vierordt, Untersuchungen über die Fehlerquellen bei der Zählung der Blutkörperchen Archiv für physiol. Heilkunde, Jahrg. 11, S. 854.

4. Schmidt, Über Vierordts Methode der Blutanalyse. Henles u. Pfeufers Zeitschr. für rationelle Medizin, Bd 2, S. 293.

1853.

1. Funke, Referat „Über die Fehlerquellen bei der Zählung der Blutkörperchen von K. Vierordt". Schmidts Jahrbücher der in- und ausländ. gesamten Medizin, Bd. 78, S. 5.

1854.

1. K. Vierordt, Beiträge zur Physiologie des Blutes. II. Nachträgliche Bemerkungen zur Technik der Blutkörperchenzählung. Archiv für physiol. Heilkunde, Jahrg. 13, S. 277.

2. H. Welcker, Blutkörperchenzählung und farbeprüfende Methode. Vierteljahrsschr. für die prakt. Heilkunde, Jahrg. 11, Bd. 4, S. 11.

10) 3. H. Welcker, Über Blutkörperchenzählung. Archiv des Vereins für gemeinschaftl. Arbeiten zur Förderung der wissenschaftl. Heilkunde, Bd. 1, S. 161.

4. K. Vierordt, Beitrag zur Physiologie des Blutes. Archiv für physiol. Heilkunde, Jahrg. 13, S. 408.

5. J. Moleschott, Über das Verhältnis der farblosen Blutzellen zu den farbigen in verschiedenen Zuständen des Menschen. Wiener mediz. Wochenschr., Jahrg. 4, S. 113.

1855.

1. A. Cramer, Bijdrage tot de quantitatieve mikroskopische Analyse van het bloed. Het tellen der bloedligchaampjes. Nederlandsch lancet. Tijdschrift voor

---

1) Die mit °) versehene Literatur konnte Verfasser nicht selbst einsehen. Bezüglich des Literaturverzeichnisses siehe S. 4.

de geneeskundige wetenschappen in haren geheelen omvang, Jahrg. 4, S. 453. Referat in Schmidts Jahrbüchern der in- und ausländ. gesamten Medizin, Bd. 95, S. 14.

1857.

1. H. Milne Edwards, Du sang. Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux, Bd. 1, S. 41, 71, 83 und 91.

1858.

15) 1. O. Funke, Lehrbuch der Physiologie, Bd. 1, S. 8 und 15. Verlag von L. Voss, Leipzig.

1863.

1. H. Welcker, Größe, Zahl, Volum, Oberfläche und Farbe der Blutkörperchen bei Menschen und bei Tieren. Henles und v. Pfeufers Zeitschr. für rationelle Medizin, Reihe 3, Bd. 20, S. 280.

1864.

1. P. L. Panum, Experimentelle Untersuchungen über die Veränderungen der Mengenverhältnisse des Blutes und seiner Bestandteile durch die Inanition. Virchows Archiv f. pathol. Anatomie usw., Bd. 29, S. 241.
2. P. L. Panum, Die Blutmenge neugeborener Hunde und das Verhältnis ihrer Blutbestandteile, verglichen mit denen der Mutter und ihrer älteren Geschwister. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 29, S. 481.

1865.

1. M. Schultze, Ein heizbarer Objekttisch und seine Verwendung bei Untersuchungen des Blutes. Schultzes Archiv für mikroskop. Anatomie, Bd. 1, S. 9.

1868.

20) 1. A. Schklarewsky, Über das Blut und die Suspensionsflüssigkeiten. Pflügers Archiv f. d. gesamte Physiol., Bd. 1, S. 603.

1872.

1. L. Malassez, De la numération des globules rouges du sang chez les mammifères, les oiseaux et les poissons. Compt. rend. de l'académie des sciences (Paris), Bd. 75, S. 1528.
2. W. Manassein, Über die Dimensionen der roten Blutkörperchen unter verschiedenen Einflüssen. Verlag von L. F. Fues, Tübingen.

1873.

1. L. C. Malassez, De la numération des globules rouges du sang. I. Des méthodes de numération. II. De la richesse du sang en globules rouges dans les différentes parties de l'arbre circulatoire. Medic. Dissertation, Paris.

1874.

1. L. Malassez, Nouvelle méthode de numération des globules rouges et des globules blancs du sang. Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 6, S. 32.

1875.

25) 1. G. Hayem et A. Nachet, Sur un nouveau procédé pour compter les globules du sang. Compt. rend. de l'académie des sciences (Paris), Bd. 80, 1, S. 1083.
2. G. Hayem, De la numération des globules du sang. Gazette hebdom. de médecine et de chirurgie (Paris), Bd. 12, S. 291.

1876.

1. J. Worm-Müller, Om Taelingen af de röde Blodlegemer efter Malassezs Methode. Arch. for Mathematik og Naturvidenskab. I. Kristiania 1876. Referat in Virchows und Hirschs Jahresbericht über die Leist. und Fortschr. in der gesamt. Medizin, Jahrg. 14, Bd. 1, S. 125.

2. S. T. Sörensen, Undersogelser om Antallet af rode og hvide Blodlegemer under forskjellige physiologiske og pathologiske Tilstande. Dissertation Kopenhagen 1876. Zitiert nach Hofmanns und Schwalbes Jahresber. über die Fortschr. der Anat. und Physiol., Bd. 5, Abt. 3, S. 190 und 192.

3. R. Gscheidlen, Physiologische Methodik. S. 356. Verlag von F. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

1877.

30) 1. W. R. Gowers, On the numeration of bloodcorpuscles. The lancet, Jahrg. 1877, Bd. 2, S. 797.

2. P. Ehrlich, Beiträge zur Kenntnis der Anilinfärbungen und ihrer Verwendung in der mikroskopischen Technik. Archiv für mikroskop. Anat., Bd. 13, S. 263.

3. L. Malassez, Sur la richesse en hémoglobine des globules rouges du sang. Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 9, S. 634.

1878.

1. L. v. Lesser, Über die Verteilung der roten Blutscheiben im Blutstrome. Du Bois-Reymonds Archiv für Physiol., Jahrg. 1878, S. 41.

2. G. Hayem, Recherches sur l'anatomie normale et pathologique du sang. Verlag von G. Masson, Paris.

35) 3. G. Hayem, Recherches sur l'évolution des hématies dans le sang de l'homme et des vertébrés. Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 10, S. 692.

4. E. Abbe, Über Blutkörper-Zählung. Sitz.-Ber. der Jenaischen Gesellsch. für Medizin und Naturwissensch. für das Jahr 1878, S. 98. 1879.

1879.

1. Ehrlich, Über die spezifischen Granulationen des Blutes. Verhandl. der Berliner physiol. Gesellsch. in Du Bois-Reymonds Archiv für Physiol., Jahrg. 1879, S. 571.

2. J. E. Buntzen, Om Ernäringens og Blodtabets Inflydelse paa Blodet. Experimentel physiologisk Undersögelse. Kopenhagen. [0]).

3. H. Guérard, Des erreurs dans la numération des globules sanguins. Medic. Dissertation, Nancy.

1880.

40) 1. A. Rollett, Physiologie des Blutes und der Blutbewegung. Hermanns Handb. der Physiol., Bd. 4, Teil 1, S. 9, 73 und 80.

2. P. Ehrlich, Methodologische Beiträge zur Physiologie und Pathologie der verschiedenen Formen der Leukozyten. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 1, S. 553.

3. L. Malassez, Sur les perfectionnements les plus récents apportés aux méthodes et aux appareils de numération des globules sanguins, et sur un nouveau compte-globules. Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 12, S. 377 (a). Dieselbe Publikation in den Arbeiten des Laboratoire d'histologie du collège de France, Jahrg. 1879—1880, S. 212 (b).

4. L. Malassez, Compte-globules à chambre humide graduée. Gazette médicale de Paris, Jahrg. 51, S. 561.

1881.

1. J. F. Lyon und R. Thoma, Über die Methode der Blutkörperzählung. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 84, S. 131.

45) 2. J. F. Lyon, Blutkörperzählungen bei traumatischer Anämie. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 84, S. 207.

3. T. Zäslein, Blutkörperzählungen (nach Malassez) und Blutfarbstoff-Bestimmungen (nach Hüfner) bei Typhus abdominalis. Mediz. Dissertation Basel.

4. E. Hart, On the micrometric numeration of the blood-corpuscles and the estimation of their haemoglobin. Quarterly journal of microscop. science., Bd. 21, S 132.

5. L. Reyne, De la crise hématique dans les maladies aigues à défervescence brusque. Mediz. Dissertation Paris.

6. A. Cadet, Etude physiologique des éléments figurés du sang et en particulier des hématoblastes. Mediz. Dissertation Paris.

1882.

50) 1. R. Thoma, Die Zählung der weißen Zellen des Blutes. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 87, S. 201.

2. N. Heyl, Zählungsresultate betreffend die farblosen und die roten Blutkörperchen. Mediz. Dissertation Dorpat.

1883.

1. L. v. Hoffer, Über Blutkörperchenzählung und deren Verwertung zu klinischen Zwecken. Wiener mediz. Wochenschr., Jahrg. 33, S. 1064 und 1088.

2. S. Laache, Die Anämie. Universitätsprogramm für das 2. Semester 1883, Christiania.

3. H. Feiertag, Beobachtungen über die sogenannten Blutplättchen (Blutscheibchen). Mediz. Dissertation Dorpat.

55) 4. A. Andreesen, Über die Ursachen der Schwankungen im Verhältnis der roten Blutkörperchen zum Plasma. Mediz. Dissertation Dorpat.

5. Ehrlich, Über das Vorkommen von Glykogen im diabetischen und normalen Organismus. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 6, S. 40.

6. A. Halla, Über den Hämoglobingehalt des Blutes und die quantitativen Verhältnisse der roten und weißen Blutkörperchen bei akuten fieberhaften Krankheiten. Zeitschr. für Heilkunde, Bd. 4, S. 198 und 331.

1884.

1. S. Alferow, Nouvel appareil servant à compter exactement les globules sanguins Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 16, 1, S. 269.

2. M. Afanassiew, Über den dritten Formbestandteil des Blutes im normalen und pathologischen Zustande und über die Beziehung desselben zur Regeneration des Blutes. v. Ziemssens und Zenkers Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 35, S. 217.

60) 3. J. Cohnstein und N. Zuntz, Untersuchungen über das Blut, den Kreislauf und die Atmung beim Säugetier-Fötus. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 34, S. 173.

4. F. Siegel, Über Methode und praktische Verwertung der Blutkörperchenzählung. Allgem. Wiener mediz. Zeitung, Jahrg. 29, S. 114, 127, 173 und 272.

5. J. Cohnstein, Blutveränderung während der Schwangerschaft. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 34, S. 233.

1885.

1. J. G. Otto, Untersuchungen über die Blutkörperchenzahl und den Hämoglobingehalt des Blutes. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 36, S. 12, 36 und 57.

2. C. Schimmelbusch, Die Blutplättchen und die Blutgerinnung. Virchows Archiv für pathol. Anatomie, Bd. 101, S. 201.

65) 3. J. Toison, Sur la numération des éléments du sang. Extrait du journ. des sc. méd. de Lille, fév. 1885, 4 pp.⁰) Referat in der Zeitschr. für wissensch. Mikroskopie und für mikroskop. Technik, Bd. 2, S. 398.

1886.

1. C. Laker, Beobachtungen an den geformten Bestandteilen des Blutes. Sitzungsber. der Wiener Akademie der Wissensch., math.-naturwiss. Klasse, Bd. 93, Abt. 3, S. 21.

2. Prus, Einiges über das Verhalten des leukämischen Blutes. Medycyna 1886, Nr. 39 und 40 (polnisch).⁰) Referat im Zentralbl. für klin. Medizin, Jahrg. 8, S. 469. 1887.

3. R. Fusari, Contributo allo studio delle piastrine[1]) del sangue allo stato normale et patologico. Bizzozeros Archivio per le scienze mediche, Bd. 10, S. 241.

---

1) Blutplättchen.

1887.

1. G. Bizzozero, Handbuch der klinischen Mikroskopie. 2. Aufl. der deutschen Originalausgabe, besorgt von S. Bernheimer, S. 57. Verlag von E. Besold, Erlangen.

70) 2. C. E. Eberth, Über die Blutplättchen der Wirbeltiere. Fortschritte der Medizin, Jahrg. 5, S. 57.

3. Ehrlich, Über die Bedeutung der neutrophilen Körnung. Charité-Annalen, Jahrg. 12, S 288.

1888.

1. J. Cohnstein und N. Zuntz, Untersuchungen über den Flüssigkeits-Austausch zwischen Blut und Geweben unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Bedingungen. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 42, S. 303.

2. Mayet, Note sur un nouveau perfectionnement apporté à la numération des globules rouges et blancs du sang. Archives de physiol. norm. et pathol., Jahrg. 20, Bd. 2, S. 90.

3. C. J. Eberth und C. Schimmelbusch, Die Thrombose nach Versuchen und Leichenbefunden, S. 12 und 32. Verlag von F. Enke, Stuttgart.

75) 4. L. Ranvier, Technisches Lehrbuch der Histologie, S. 171. Übersetzt von W. Nicati und H. v. Wyss. Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig.

1889.

1. G. Hayem, Du sang et de ses altérations anatomiques. Verlag von G. Masson, Paris.

2. W. Reinecke, Über Blutkörperzählungen. Mediz. Dissertation Halle a. S.

3. O. Oppenheimer, Über die praktische Bedeutung der Blutuntersuchung mittels Blutkörperchenzähler und Hämoglobinometer. Deutsche mediz. Wochenschr., Jahrg. 15, S. 859, 880 und 904.

4. G. Neubert, Ein Beitrag zur Blutuntersuchung, speziell bei der Phthisis pulmonum und dem Karzinom. Mediz. Dissertation Dorpat.

80) 5. A. Gürber, Die Gesamtzahl der Blutkörperchen und ihre Variation. II. Beitrag zu J. Gaules Zahlenwerte zu dem Oekus des Frosches. Du Bois-Reymonds Archiv für Physiol., Jahrg. 1889, S. 83.

6. R. Stierlin, Blutkörperchenzählungen und Hämoglobinbestimmungen bei Kindern. v. Ziemssens und v. Zenkers Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 45, S. 75, 81 und 266.

1890.

1. E. Schiff, Über das quantitative Verhalten der Blutkörperchen und des Hämoglobin bei neugeborenen Kindern und Säuglingen unter normalen und pathologischen Verhältnissen. Zeitschr. für Heilkunde, Bd. 11, S. 17.

1891.

1. E. Reinert, Die Zählung der Blutkörperchen und deren Bedeutung für Diagnose und Therapie. Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig.

2. R. Muir, Contributions to the physiology and pathology of the blood. The journal of anatomy and physiol. norm. and pathol., Bd. 25, S. 256.

85) 3. C. Eijkman, Blutuntersuchungen in den Tropen. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 126, S. 113.

4. M. Bethe, Beiträge zur Kenntnis der Zahl- und Maßverhältnisse der roten Blutkörperchen. Mediz. Dissertation Strassburg i. E.

5. J. Daland, Über das Volumen der roten und weißen Blutkörperchen im Blute des gesunden und kranken Menschen. Curschmanns und Eberths Fortschr. der Medizin, Jahrg. 9, S. 868.

6. P. Ehrlich, Farbenanalytische Untersuchungen zur Histologie und Klinik des Blutes. Gesammelte Mitteilungen. Erster Teil. Verlag von A. Hirschwald, Berlin.

7. D. Romanowsky, Zur Frage der Parasitologie und Therapie der Malaria. St. Petersburger mediz. Wochenschr., Jahrg. 16, S. 297 und 307.

90) 8. G. Bizzozero, Über die Blutplättchen. Internat. Beiträge zur wissensch. Medizin. Festschrift für R. Virchow, Bd. 1, S. 457.

9. J. Salvioli, Über die Todesursachen nach Verbrennung. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 125, S. 378.

10. G. Gabritschewsky, Klinische hämatologische Notizen. Naunyns und Schmiedebergs Archiv für experim. Pathol. und Pharmakol., Bd. 28, S. 83.

1892.

1. J. Zappert, Eine Methode zur Zählung der eosinophilen Zellen im frischen Blut. Zentralbl. für klin. Medizin, Jahrg. 13, S. 386.

2. H. F. Müller, Die Methoden der Blutuntersuchung. Zieglers und v. Kahldens Zentralbl. für allgem. Pathol. und pathol. Anatomie, Bd. 3, S. 801.

95) 3. H. Rieder, Beiträge zur Kenntnis der Leukozytose und verwandter Zustände des Blutes. Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig.

4. M. Loewit, Studien zur Physiologie und Pathologie des Blutes und der Lymphe. Verlag von G. Fischer, Jena.

1893.

1. F. Miescher, Bemerkungen über eine verbesserte Form der Mischpipette und ihren Einfluß auf die Genauigkeit der Blutkörperzählung. Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte, Jahrg. 23, S. 830.

2. J. Zappert, Über das Vorkommen der eosinophilen Zellen im menschlichen Blute. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 23, S. 227.

3. P. Knoll, Über die Blutkörperchen bei wirbellosen Tieren. Sitzungsber. der math.-naturwissensch. Klasse der Wiener Akad. der Wissensch., Bd. 102, Abt. 3, S. 440.

100) 4. R. v. Jaksch, Über die Zusammensetzung des Blutes gesunder und kranker Menschen. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 23, S. 187.

5. H. Rieder, Atlas der klinischen Mikroskopie des Blutes. Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig.

1894.

1. A. Goldscheider und P. Jacob, Über die Variationen der Leukozytose. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 25, S. 373.

2. L. F. Barker, On the presence of iron in the granules of the eosinophile leucocytes. The Johns Hopkins hospital bulletin, Bd. 5, S. 93.

3. R. Altmann, Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu den Zellen. 2. Aufl. Verlag von Veit und Komp., Leipzig.

105) 4. A. Elzholz, Neue Methode zur Bestimmung der absoluten Zahlenwerte der einzelnen Leukozytenarten im Kubikmillimeter Blut. Wiener klin. Wochenschr., Jahrg. 7, S. 587.

5. L. Pizzini, Modificazioni fisio-pathologiche delle piastrine del sangue specialmente in rapporto congli aumanti di temperatura. Riforma medica 1894, Bd. 2, S. 376.[1])

1895.

1. E. Grawitz, Über die Einwirkung des Höhenklimas auf die Zusammensetzung des Blutes. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 32, S. 713 und 740.

2. M. Lederer, Zur Methodik der Blutuntersuchung. Zeitschr. für Heilkunde. Bd. 16, S. 107.

3. C. v. Kahlden, Technik der histologischen Untersuchung pathologisch-anatomischer Präparate. 4. Aufl., S. 88. Verlag von G. Fischer, Jena.

1896.

110) 1. R. v. Limbeck, Grundriß einer klinischen Pathologie des Blutes. 2. Aufl., S. 9. Verlag von G. Fischer, Jena.

2. H. Rabl, Über eine elektive Färbung der Blutplättchen in Trockenpräparaten. Wiener klin. Wochenschr., Jahrg. 9, S. 1060.

3. J. Arnold, Zur Technik der Blutuntersuchung. Zentralbl. für allg. Pathol. und pathol. Anatomie, Bd. 7, S. 705.

1897.

1. F. Egger, J. Karcher, F. Miescher, F. Suter und E. Veillon, Untersuchungen über den Einfluß des Höhenklimas auf die Beschaffenheit des Blutes. Naunyns und Schmiedebergs Archiv für experim. Pathol. und Pharmakol., Bd. 39, S. 442.

2. T. G. Brodie and A. E. Russell, The enumeration of blood-platelets. Fosters und Langleys The journal of physiol., Bd. 21, S. 390.

115) 3. E. Meißen und G. Schroeder, Zur Frage der Blutveränderungen im Gebirge. Beitrag zur Pathologie des Blutes. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 44, S. 610 und 645.

4. A. Gottstein, Die Ursachen der Blutkörperchenvermehrung bei vermindertem Luftdruck. Allgem. mediz. Zentral-Zeitung, Jahrg. 66, S. 939.

5. R. Friedländer, Eine neue Zählkammer für Leukozyten. Deutsche mediz. Wochenschr., Jahrg. 23, S. 497.

6. H. Hirschfeld, Beiträge zur vergleichenden Morphologie der Leukozyten. Mediz. Dissertation Berlin.

7. A. Kündig, Über die Veränderungen des Blutes im Hochgebirge bei Gesunden und Lungenkranken. Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte, Jahrg. 27, S. 2.

120) 8. G. Schroeder, Die Blutveränderungen im Gebirge und ihre Bedeutung für den gesunden und kranken Menschen. Grossers Deutsche Medizinalzeitung, Jahrg. 1897, S. 817.

1898.

1. P. Ehrlich und A. Lazarus, Die Anaemie. I. Abteilung. Normale und pathologische Histologie des Blutes. Nothnagels Spezielle Pathol. und Therapie, Bd. 8, Abt. 1, S. 1. Verlag von A. Hölder, Wien.

2. O. Schauman und E. Rosenqvist, Über die Natur der Blutveränderungen im Höhenklima. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 35, S. 126 und 315.

3. W. Schwinge, Untersuchungen über den Hämoglobingehalt und die Zahl der roten und weißen Blutkörperchen in den verschiedenen menschlichen Lebensaltern unter physiologischen Bedingungen. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 73, S. 299.

4. E. Meißen und G. Schroeder, Eine vom Luftdruck unabhängige Zählkammer für Blutkörperchen. Ein Beitrag zur Lösung der Frage von den Blutveränderungen im Gebirge. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 45, S. 111.

125) 5. G. Schroeder, Zur Frage der Blutveränderungen im Gebirge. Mitteilungen über die neue, vom Luftdruck unabhängige Zählkammer für Blutkörperchen. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 45, S. 1332.

6. F. Starcke, Über Blutkörperchenzählung. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 45, S. 1562.

7. A. Gottstein, Über Blutkörperchenzählung und Luftdruck. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 35, S. 439 und 466.

8. J. E. G. van Emden, Klinische Untersuchungen über die Blutplättchen. I. Das Zählen der Blutplättchen. Fortschritte der Medizin, Jahrg. 16, S. 241.

9. W. Türk, Klinische Untersuchungen über das Verhalten des Blutes bei akuten Infektionskrankheiten. Verlag von W. Braumüller, Wien und Leipzig.

130) 10. Determann, Klinische Untersuchungen über Blutplättchen. Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 61, S. 365.

1899.

1. K. Turban, Die Blutkörperchenzählung im Hochgebirge und die Meißensche Schlitzkammer. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 46, S. 792.

2. E. Meißen, Die Abhängigkeit der Blutkörperchenzahl von der Meereshöhe, Therapeut. Monatshefte, Jahrg. 13, S. 523.

3. W. Römisch, Beiträge zur Frage über die Einwirkung des Höhenklimas auf die Zusammensetzung des Blutes. Festschr. zur Feier des 50-jähr. Bestehens des Stadtkrankenhauses zu Dresden-Friedrichstadt, S. 245. Verlag von W. Baensch, Dresden.

4. A. Gottstein, Die Vermehrung der roten Blutkörperchen im Hochgebirge. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 46, S. 1299.

135) 5. G. Schroeder, Entgegnung auf Turbans Aufsatz: „Die Blutkörperchenzählung im Hochgebirge und die Meißensche Schlitzkammer“ als weiterer Beitrag zur Klärung der Frage. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 46, S. 1300.

6. L. Jenner, A new preparation for rapidly fixing and staining blood. The lancet, Jahrg. 77, Bd. 1, S. 370.

7. R. Zollikofer, Zur Jodreaktion der Leukozyten. Mediz. Dissertation Bern.

8. J. Arnold, Über Granulafärbung lebender und überlebender Leukozyten. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 157, S. 424.

1900.

1. H. Laurent, Über eine neue Färbemethode mit neutraler Eosin-Methylenblaumischung, anwendbar auch auf andere neutrale Farbgemische. Zieglers und v. Kahldens Zentralbl. für allgem. Pathol. und pathol. Anatomie, Bd. 11, S. 86.

140) 2. R. Zollikofer, Kammerfärbung der Leukozyten. Behrens' Zeitschr. für wissensch. Mikroskopie und für mikroskop. Technik, Bd. 17, S. 313.

3. O. Schauman und E. Rosenqvist, Wie ist die Blutkörperchenvermehrung im Gebirge zu erklären? Therapeut. Monatshefte, Jahrg. 14, S. 28.

4. O. Schauman und E. Rosenqvist, Zur Höhenklimafrage. Therapeut. Monatshefte, Jahrg. 14, S. 256.

5. E. Meißen, Antikritische Bemerkungen zu O. Schauman und E. Rosenqvists Aufsatz „Wie ist die Blutkörperchenvermehrung im Gebirge zu erklären?“ Therapeut. Monatshefte, Jahrg. 14, S. 84.

6. C. F. Meyer, Ist die Zeiß-Thomasche Zählkammer wirklich vom äußeren Luftdruck abhängig? Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 47, S. 428.

5) 7. K. Turban, Bemerkungen zu Schroeders Entgegnung auf meinen Aufsatz „Die Blutkörperchenzählung im Hochgebirge und die Meißensche Schlitzkammer.“ Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 47, S. 429.

8. A. Gottstein und G. Schroeder, Ist die Blutkörperchenvermehrung im Gebirge eine scheinbare oder nicht? Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 37, S. 597.

9. K. Nakanishi, Vorläufige Mitteilung über eine neue Färbungsmethode zur Darstellung des feineren Baues der Bakterien. Münchener medizin. Wochenschr., Jahrg. 47, S. 187.

10. K. Brandenburg, Über die Reaktion der Leukozyten auf die Guajaktinktur. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 47, S. 183.

11. Sabrazès, Hématologie clinique. Paris.⁰)

1901.

150) 1. R. v. Jaksch, Klinische Diagnostik innerer Krankheiten. 5. Aufl., S. 8. Verlag von Urban und Schwarzenberg, Berlin, Wien.

2. A. Storch, Untersuchungen über den Blutkörperchengehalt des Blutes der landwirtschaftlichen Haussäugetiere. Vet.-mediz. Dissertation Bern.

3. H. Deetjen, Untersuchungen über die Blutplättchen. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 164, S. 239.

4. M. C. Dekhuyzen, Über die Thrombozyten (Blutplättchen). Anatom. Anzeiger, Bd. 19, S. 529.

5. G. T. Kemp avec H. Calhoun, La numération des plaquettes du sang et la relation des plaquettes et des leucocytes avec la coagulation. Archives italiennes de biol., Bd. 36, S. 82.

155) 6. G. T. Kemp and H. Calhoun, Some new observations on blood-plates and leucocytes. Proceed. of the americ. physiol. society in The americ. journal of physiol., Bd. 5, S. IV.

7. F. Kopsch, Die Thrombozyten (Blutplättchen) des Menschenblutes und ihre Veränderungen bei der Blutgerinnung. Anatom. Anzeiger, Bd. 19, S. 541.

8. P. Argutinsky, Zur Kenntnis der Blutplättchen. Anatom. Anzeiger, Bd. 19, S. 552.

9. A. Pappenheim, Wie verhalten sich die Unnaschen Plasmazellen zu Lymphozyten? Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 166, S. 424.

10. C. Levaditi, Un cas de leucémie myélogène. Considérations sur la Mastzellen-Leukozytose et sur l'hétérochromasie des granulations leucocytaires. Bouchards et Chauveaus Journal de physiol. et de pathol. générale, Bd. 3, S. 424.

160) 11. W. B. Leishman, A simple and rapid method of producing Romanowsky staining in malarial and other blood films. The british medical journal, Jahrg. 1901, Bd. 2, S. 757.

12. A. Pappenheim, Eine panoptische Triazidfärbung. Deutsche mediz. Wochenschr., Jahrg. 27, S. 798.

13. L. Michaelis, Das Methylenblau und seine Zersetzungsprodukte. Zentralbl. für Bakteriol., Parasitenkunde und Infektionskrankheiten, Bd. 29, Abt. 1, S. 763.

14. A. Pappenheim, Grundriß der Farbchemie zum Gebrauch bei mikroskopischen Arbeiten. Verlag von A. Hirschwald, Berlin.

1902.

1. J. Gaule, Die Blutbildung im Luftballon. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 89, S. 119.

165) 2. W. Türk, Über Leukozytenzählung. Wiener klin. Wochenschr., Jahrg. 15, S. 715 und 749.

3. R. Breuer, Zur Technik der Leukozytenzählung. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 39, S. 953.

4. M. Einhorn und G. L. Laporte, Eine neue Methode, die Blutkörperchenzahl nach Trockenpräparaten annähernd zu bestimmen. Fortschritte der Medizin, Jahrg. 20, S. 417.

5. F. Hesse, Zur Kenntnis der Granula der Zellen des Knochenmarkes, bez. der Leukozyten. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 167, S. 231.

6. H. J. A. van Voornveld, Das Blut im Hochgebirge. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 92, S. 1.

170) 7. R. May und L. Grünwald, Über Blutfärbungen. Zentralbl. für innere Medizin, Jahrg. 23, S. 265.

8. G. T. Kemp, Relation of blood plates to the increase in the number of red corpuscles at high altitudes. Proceed. of the americ. physiol. society in The americ. journ. of physiol., Bd. 6, S. XI.

9. E. Schwalbe, Die Blutplättchen, insbesondere ihr Bau und ihre Genese. Lubarschs und Ostertags Ergebnisse der allgem. Pathol. und pathol. Anatomie des Menschen und der Tiere, Jahrg. 8, Abt. 1, S. 150.

10. H. J. Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre in den medizinischen Wissenschaften. Zugleich Lehrbuch physikalisch-chemischer Methoden. Bd. 1. Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden. (Forts. Lit.-Verzeichnis 1904, 17.)

11. G. T. Kemp and O. O. Stanley, Some new observations on blood plates. Proceed. of the americ. physiol. society in The americ. journ. of physiol., Bd. 6, S. XI.

175) 12. V. v. Ebner, Vom Blute und von der Lymphe. Koellikers Handb. der Gewebelehre des Menschen, Bd. 3, S. 714. Verlag von W. Engelmann, Leipzig.

1903.

1. W. Brünings, Ein neuer Apparat für Blutkörperchenzählung. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 93, S. 377.

2. R. May, Über eine Pipette zur Blutkörperchenzählung mit automatischer Einstellung. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 50, S. 253.

3. A. Rößle, Untersuchungen über das Verhalten der Leukozytenzahl im Pferdeblut. Vet.-mediz. Dissertation Gießen.

4. O. v. Fürth, Vergleichende chemische Physiologie der niederen Tiere. S. 45, 51, 77, 99 und 102. Verlag von G. Fischer, Jena.

180) 5. K. Bürker, Eine einfache Methode zur Gewinnung von Blutplättchen. Zentralblatt für Physiol., Bd. 17, S. 137.

6. J. H. Pratt. Beobachtungen über die Gerinnungszeit des Blutes und die Blutplättchen. Naunyns und Schmiedebergs Archiv für experim. Pathol. und Pharmakol., Bd. 49, S. 299.
7. G. Puchberger, Bemerkungen zur vitalen Färbung der Blutplättchen des Menschen mit Brillantkresylblau. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 171, S. 181.
8. A. Lazarus, Blut und Blutuntersuchung. v. Leydens und Klemperers Die deutsche Klinik am Eingange des zwanzigsten Jahrhunderts, Bd. 3, S. 277.
9. K. Preisich und P. Heim, Durch Färbung lebhaft differenzierte Blutplättchen. Deutsche mediz. Wochenschr., Jahrg. 29, S. 588.
185) 10. E. Meyer, Beiträge zur Leukozytenfrage. Münchener mediz. Wochenschr. Jahrg. 50, S. 1489.
11. A. Noll, Bildung und Regeneration der roten Blutkörperchen. Ashers und Spiros Ergebnisse der Physiol., Jahrg. 2, Abt. 1, S. 433.

1904.

1. W. Türk, Vorlesungen über klinische Hämatologie. Erster Teil: Methode der klinischen Blutuntersuchung. Elemente der normalen und pathologischen Histologie des Blutes. Verlag von W. Braumüller, Wien und Leipzig. (Forts. Lit.-Verzeichnis 1912, 2.)
2. K. Bürker, Die physiologischen Wirkungen des Höhenklimas. 2. Die Thoma-Zeißsche Zählkammer. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 105, S. 481.
3. R. May und L. Grünwald, Beiträge zur Blutfärbung. Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 79, S. 468.
190) 4. A. Jaquet, Über die physiologische Wirkung des Höhenklimas. Programm zur Rektoratsfeier der Universität Basel.
5. J. Ries, Nadel zur Blutentnahme für Untersuchungszwecke. Zeitschr. für wissensch. Mikroskopie, Bd. 21, S. 479.
6. F. Bezançon et M. Labbé, Traité d'hématologie. Verlag von G. Steinheil, Paris.
7. K. Bürker, Blutplättchen und Blutgerinnung. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 102, S. 36. Auszug in der Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 51, S. 1189.
8. H. Rosin und E. Bibergeil, Über vitale Blutfärbung und deren Ergebnisse bei Erythrozyten und Blutplättchen. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 54, S. 197.
195) 9. Rosin und E. Bibergeil, Das Verhalten der Leukozyten bei der vitalen Blutfärbung. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 178, S. 478.
10. J. Arneth, Die neutrophilen weißen Blutkörperchen bei Infektionskrankheiten. Verlag von G. Fischer, Jena.
11. E. Helber, Über die Zählung der Blutplättchen im Blute des Menschen und ihr Verhalten bei pathologischen Zuständen. Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 81, S. 316.
12. K. Preisich und P. Heim, Über die Abstammung der Blutplättchen. Virchows Archiv für pathol. Anatomie usw., Bd. 178, S. 43.
13. H. Küttner, Über die Jodreaktion der Leukozyten und ihre chirurgische Bedeutung. Archiv für klin. Chirurgie, Bd. 73, S. 438.
200) 14. Reich, Über die Glykogenreaktion des Blutes und ihre Verwertbarkeit bei chirurgischen Affektionen. v. Bruns Beiträge zur klin. Chirurgie, Bd. 42, S. 277.
15. F. L. Richardson, Effect of severe hemorrhage on the number of blood plates in blood from the peripheral circulation of rabbits. The Journal of medic. research (Boston), Bd. 13, S. 99.
16. F. Kopsch, Über den Kern der Thrombozyten und über einige Methoden zur Einführung in das Studium der Säugetier-Thrombozyten. Internat. Monatschr. für Anatomie und Physiol., Bd. 21, S. 344.
17. H. J. Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre in den medizinischen Wissenschaften. Zugleich Lehrbuch physikalisch-chemischer Methoden. Bd. 2 und 3. Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden. (Forts. von Lit.-Verzeichnis 1902. 10.)

18. J. Seemann, Die blutbildenden Organe. Ashers und Spiros Ergebnisse der Physiol., Jahrg 3, Abt. 1, S. 1.

205) 19. Simon et Spillmann, Application de la photographie à la numération des éléments figurés du sang. Compt. rend. de la société de biologie, Bd. 56, 2, S. 659.

20. G. Galli, Ein verbesserter Mischer zur Zählung der Blutkörperchen. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 51, S. 561.

21. E. L. Walker, A comparative study of the blood corpuscles of vertebrates. The journal of medic. research (Boston), Bd. 13, S. 61.

1905.

1. A. Pappenheim, Atlas der menschlichen Blutzellen. Verlag von G. Fischer, Jena, 1905—1909.

2. O. Liebreich, Über Blutkörperchenzählung mit dem Thoma-Zeißschen Apparat. Verhandl. der Berliner physiol. Gesellsch. in Engelmanns Archiv für Physiol., Jahrg. 1905, S. 389.

210) 3. N. Zuntz, Zur Kritik der Blutkörperchenzählung. Verhandl. der Berliner physiol. Gesellsch. in Engelmanns Archiv für Physiol., Jahrg. 1905, Suppl.-Bd., S. 441.

4. K. Schultz, Untersuchungen über das Verhalten der Leukozyten-Zahl im Wiederkäuerblut. Vet.-mediz. Dissertation Bern.

5. C. Sternberg, Primärerkrankungen des lymphatischen und hämatopoëtischen Apparates; normale und pathologische Morphologie des Blutes. Lubarschs und Ostertags Ergebnisse der allg. Pathol. und pathol. Anatomie des Menschen und der Tiere, Jahrg. 9, Abt. 2, S. 360.

6. K. Bürker, Eine neue Form der Zählkammer. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 107, S. 426.

7. V. Ružička, Über tinktorielle Differenzen zwischen lebendem und abgestorbenem Protoplasma. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 107, S. 497.

215) 8. R. Kjer-Petersen, Om Taelling af hvide Blodlegemer og om disses Tal hos sunde Maend og Kvinder. Mediz. Dissertation Kopenhagen.

9. W. Riebes, Eine Modifikation der Zollikoferschen Kammerfärbungsmethode. Münchener med. Wochenschr., Jahrg. 52, S. 1487.

10. J. Pratt, A critical study of the various methods employed for enumerating blood platelets. The journal of the americ. medic. association, Bd. 45, S. 1999.

11. R. Nonnenmacher, Vergleichende Untersuchungen über die Zusammensetzung des Kapillarblutes in verschiedenen Körperregionen und thermische Einflüsse auf dieselbe. Mediz. Dissertation Würzburg.

12. J. Ewing, Clinical pathology of the blood. 2. Aufl. Verlag von H. Kimpton, London.⁰)

1906.

220) 1. N. Zuntz, A. Loewy, F. Müller und W. Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen. S. 172. Deutsches Verlagshaus Bong & Co., Berlin, Leipzig, Wien, Stuttgart, Paris.

2. F. Weidenreich, Eine neue einfache Methode zur Darstellung von Blut-Trockenpräparaten. Pappenheims Folia haematol., Jahrg. 3, S. 1.

3. H. P. T. Oerum, Über die Einwirkung des Lichts auf das Blut. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 114, S. 1.

4. Cuzzolini-Durati, Uno studio intorno alla conta dei globuli del sangue in particolare dei globuli bianchi. Il nuovo raccoglitore medico. Fasc. X—XII. 1906⁰). Referat in Pappenheims Folia haematol., Bd. 5, S. 430. 1908.

5. K. Helly, Die hämatopoëtischen Organe in ihren Beziehungen zur Pathologie des Blutes. Nothnagels Spezielle Pathologie und Therapie, 2. Aufl., Bd. 8, Teil 1, Abt. 1, S. 1.

225) 6. C. E. Simon, A new counting chamber for the enumeration of blood corpuscles. The journal of the americ. medic. association, Bd. 47, S. 1737⁰). Referat in Pappenheims Folia haematol.. Bd. 5, S. 430. 1908.

7. W. B. Cadwalader, A comparative study of the methods of counting blood platelets. Bulletin of the Ayer clinical laboratory of the Pennsylvania hospital, Nr. 3, Juni 1906, S. 50.
8. G. T. Kemp, H. Calhoun and C. E. Harris, The blood plates. Their numeration in physiology and pathology. The journal of the americ. medic. association, Bd. 46, S. 1022 und 1091.
9. G. Vallet, Note sur un procédé simple de coloration des plaquettes du sang ou hématoblastes chez l'homme. Compt. rend. de la société de biol., Jahrg. 58, Bd. 1, S. 21.
10. G. Vallet, Deuxième note sur la coloration des plaquettes du sang. Compt. rend. de la société de biol., Jahrg. 58, Bd. 1, S. 132.
230) 11. J. C. Da Costa, Clinical hematology. 2. Aufl. Verlag von Rebmann, London.°)
12. R. Kjer-Petersen, Über die numerischen Verhältnisse der Leukozyten bei der Lungentuberkulose. Mit einer Einleitung über Zählung der Leukozyten bei Gesunden. Brauers Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 1. Suppl.-Bd.

1907.

1. Kronberger, Über den Nachweis chemisch verschiedener Reaktion der Leukozyten- und Lymphozytenkerne durch Malachitgrün. Pappenheims Folia haematol., Jahrg. 4, Suppl., S. 51.
2. K. Schleip, Atlas der Blutkrankheiten nebst einer Technik der Blutuntersuchung. Verlag von Urban und Schwarzenberg, Berlin und Wien.
3. E. Meyer und H. Rieder, Atlas der klinischen Mikroskopie des Blutes. 2. Aufl. Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig.
235) 4. E. Grawitz, Hämatologie des praktischen Arztes. Verlag von G. Thieme, Leipzig.
5. K. Bürker, Erfahrungen mit der neuen Zählkammer nebst einer weiteren Verbesserung derselben. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 118, S. 460.
6. N. Tschistowitsch, Über die Blutplättchen bei akuten Infektionskrankheiten. Pappenheims Folia haematol., Jahrg. 4, S. 295.
7. G. Vallet, Sur la numération des hématoblastes. Compt. rend. de la société de biol., Jahrg. 59, Bd. 1, S. 540.
8. E. Kuhn, Die Vermehrung der roten und weißen Blutkörperchen und des Hämoglobins durch die Lungensaugmaske und ihre Beziehung zum Höhenklima. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 54, S. 1713.
240) 9. C. Inagaki, Die Veränderungen des Blutes nach Blutverlusten und bei der Neubildung des verlorenen Blutes. Voits Zeitschr. für Biol., Bd. 49, S. 77.
10. M. Heidenhain, Plasma und Zelle. 1. Lieferung: Die Grundlagen der mikroskopischen Anatomie, die Kerne, die Zentren und die Granulalehre. S. 111, 176, 327 und 434. Verlag von G. Fischer, Jena. Zugleich 14. Lieferung des v. Bardelebenschen Handbuches der Anatomie des Menschen.
11. F. Winkler, Der Nachweis von Oxydase in den Leukozyten mittels der Dimethylparaphenylendiamin-Alphanaphthol-Reaktion. Pappenheims Folia haematol., Jahrg. 4, S. 323.
12. S. Askanazy, Über die Körnung der roten Blutkörperchen bei anämischen Zuständen. Zeitschr. für klin. Medizin, Bd. 64, S. 288.

1908.

1. C. S. Engel, Leitfaden der klinischen Untersuchung des Blutes. 3. Aufl. Verlag von A. Hirschwald, Berlin.
245) 2. A. Dietrich, Die Bedeutung der Dunkelfeldbeleuchtung für Blutuntersuchungen. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 45, 2. S. 1447.
3. M. Loewenberg, Eine neue Methode der Blutkörperchenzählung. Deutsche mediz. Wochenschr., Jahrg. 34, S. 511.
4. A. v. Korányi, Physikalisch-chemische Methoden und Gesichtspunkte in ihrer Anwendung auf die pathologische Physiologie des Kreislaufs. v. Korányis und Richters Handbuch der physikalischen Chemie und Medizin, Bd. 2, S. 67. Verlag von G. Thieme, Leipzig.

5. Student, The error of a haemocytometer. Biometrika V, 3, S. 351.0) Referat in Pappenheims Folia haematol., Bd. 5, S. 430.
6. K. Bürker, Methoden zur Beobachtung und Gewinnung von Blutplättchen. Gildemeisters Zeitschr. für biol. Technik und Methodik, Bd. 1, S. 176.
250) 7. G. Aßmann, Das eosinsaure Methylenblau und Methylenazur in seiner Bedeutung für die Blutfärbung. Mediz. Dissertation Leipzig.
8. C. Achard et M. Aynaud, Coloration vitale des globulins par le rouge neutre. Compt. rend. de la société de biol., Jahrg. 60, Bd. 2, S. 442.
9. C. Posner, Die Verwendbarkeit der Dunkelfeldbeleuchtung in der klinischen Mikroskopie. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 45, S. 1444.
10. A. Walther, Zwei Beiträge zur Kenntnis des Pferdeblutes. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 123, S. 233.
11. A. Pappenheim, Zur Kenntnis und Würdigung der Methylgrün-Pyronin-Reaktion. Pappenheims Folia haematol., Bd. 6, S. 51 und Bd. 9, Archiv, S. 589.

1909.

255) 1. A. Lazarus und O. Naegeli, Normale und pathologische Histologie des Blutes. Nothnagels Spezielle Pathol. und Therapie, 2. Aufl., Bd. 8, Abt. 1, Teil 1.
2. J. Portmann, Eine Verbesserung der Pipetten des Blutkörperzählapparates und des Hämometers nach Sahli. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 46, S. 2064.
3. H. Hirschfeld, Demonstration einer Präzisionspipette zur Blutkörperchenzählung. Pappenheims Folia haematol., Bd. 7, S. 436.
4. J. Just, Über den Einfluß verschiedener Nährstoffe auf die Zahl der Blutkörperchen bei Pflanzenfressern mit einfachem Magen. Zentralbl. für Physiol., Bd. 23, S. 379.
5. K. v. Müllern, Grundriß der klinischen Blutuntersuchung. Verlag von F. Deuticke, Leipzig und Wien.
260) 6. H. Sahli, Lehrbuch der klinischen Untersuchungsmethoden. 5. Auflage, S. 852, 872 und 916. Verlag von F. Deuticke, Leipzig und Wien.
7. W. H. Schultze, Zur Differentialdiagnose der Leukämien. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 56, S. 167.
8. H. Deetjen, Zerfall und Leben der Blutplättchen. Hoppe-Seylers Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 63, S. 1.
9. M. Aynaud, Le globulin des mammifères. Mediz. Dissertation Paris.
10. R. Tojbin, Ein Apparat zur Zählung und Berechnung der Blutkörper. Medizinische Klinik, Wochenschr. für prakt. Ärzte, Jahrg. 5, S. 1712.
265) 11. H. Fischer, Myeloische Metaplasie und fötale Blutbildung und deren Histogenese. Verlag von J. Springer, Berlin.
12. K. A. Hasselbalch, Untersuchungen über die Wirkung des Lichtes auf Blutfarbstoffe und rote Blutkörperchen, wie auch über optische Sensibilisation für diese Lichtwirkungen. Biochem. Zeitschr., Bd. 19, S. 435.

1910.

1. H. Schridde und O. Naegeli, Die hämatologische Technik. Verlag von G. Fischer, Jena.
2. V. Ellermann und A. Erlandsen, Eine neue Technik der Leukozytenzählung. Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 98, S. 245.
3. C. Stäubli, Über den physiologischen Einfluß des Höhenklimas auf den Menschen. Bericht über die 10. deutsche Studienreise, S. 168. Herausgegeben im Auftr. des deutschen Zentralkomitees für ärztl. Studienreisen von A. Oliven und S. Kaminer, Berlin.
270) 4. H. Boruttau, Blut und Lymphe. Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen, Ergänzungsband S. 22. Verlag von F. Vieweg und Sohn, Braunschweig.
5. P. Ehrlich, R. Krause, M. Mosse, H. Rosin, K. Weigert, Enzyklopädie der mikroskopischen Technik. 2. Auflage, Bd. 1, S. 110. Verlag von Urban und Schwarzenberg, Berlin-Wien.

6. F. Müller, Die Blutkörperchenzählung und Hämoglobinbestimmung. Abderhaldens Handbuch der biochem. Arbeitsmethoden, Bd. 3, S. 707.

7. R. Dunger, Eine einfache Methode der Zählung der eosinophilen Leukozyten und der praktische Wert dieser Untersuchung. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 57, S. 1942.

8. C. Klieneberger und W. Carl, Die Verdauungsleukozytose beim Laboratoriumstiere. (Kritische Untersuchungen über Leukozytose im Tierexperiment.) Zentralbl. für innere Medizin, Jahrg. 31, S. 601 und 625.

275) 9. W. W. Duke, The relation of blood platelets to haemorrhagic disease. The journal of the americ. medic. association, Bd. 55, S. 1185.

10. V. Ellermann und A. Erlandsen, Über Leukozytenzählung und Inhomogenität. Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 100, S. 545.

11. K. Bürker, Gewinnung, qualitative und quantitative Bestimmung des Hämoglobins. Dieses Handbuch, Bd. 2, Abt. 1, S. 68.

12. C. Kreibich, Über Oxydasen und Peroxydasen. Wiener klin. Wochenschr., Jahrg. 23, S. 1443.

13. O. Seifert und F. Müller, Taschenbuch der medizinisch-klinischen Diagnostik. 14. Aufl., S. 90. Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

280) 14. A. R. Walther, Beiträge zur Kenntnis von Blutplättchen und Blutgerinnnng unter besonderer Berücksichtigung des Pferdes. Vet.-mediz. Dissertation Leipzig.

15. Koch, Instrumente und Apparate für serodiagnostische Untersuchungen. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 57, S. 1343.

1911.

1. E. Grawitz, Klinische Pathologie des Blutes nebst einer Methodik der Blutuntersuchungen und spezieller Pathologie und Therapie der Blutkrankheiten. 4. Aufl. Verlag von G. Thieme, Leipzig.

2. A. Pappenheim, Kurze technologische Zusammenstellung der Färbungsvorschriften mit Panchrom. Pappenheims Folia haematol., Bd. 12, 1, S. 178.

3. A. Pappenheim, Technik der klinischen Blutuntersuchung für Studierende und Ärzte. Verlag von J. Springer, Berlin.

285) 4. K. Bürker, E. Jooss, E. Moll und E. Neumann, Die physiologischen Wirkungen des Höhenklimas auf das Blut. Verhandl. des Deutschen Kongr. für innere Medizin, 28. Kongr., S. 566.

5. K. Bürker, Über weitere Verbesserungen der Methode zur Zählung roter Blutkörperchen nebst einigen Zählresultaten. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 142, S. 337.

6. A. Pappenheim, Grundriß der hämatologischen Diagnostik und praktischen Blutuntersuchung. Verlag von W. Klinkhardt, Leipzig.

7. F. Weidenreich, Die Leukozyten und verwandte Zellformen. Durch Technik, Register usw. vermehrte Sonderausgabe aus Merkel und Bonnets Ergebnissen der Anatomie, Bd. 19, Abt. 2. Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

8. W. Geissler, Ein neuer Blutkörperchenzählapparat. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 58, S. 2327.

290) 9. A. Pappenheim, Über die Vitalfärbung und die Natur der vitalfärbbaren Substanzen der Blutkörperchen. Pappenheims Folia haematol., Bd. 12, S. 289.

10. G. Giemsa, Fixierung und Färbung der Protozoen. v. Prowazeks Handbuch der pathogenen Protozoen, S. 6. Verlag von J. A. Barth, Leipzig.

11. R. Dunger, Eine erweiterte Zählkammer für Leukozytenzählung und Zytodiagnostik. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 58, S. 1131.

12. W. W. Duke, The rate of regeneration of blood platelets. The journal of experimental medicine, Bd. 14, S. 265.

13. M. Heidenhain, Plasma und Zelle. 2. Lieferung. Die kontraktile Substanz, die nervöse Substanz, die Fadengerüstlehre und ihre Objekte, S. 1058: Die roten Blutkörperchen und ihr Randreifen. Verlag von G. Fischer, Jena. Zugleich 19. Lieferung des v. Bardelebenschen Handbuches der Anatomie des Menschen.

295) 14. W. Schüffner, Eine einfache Färbung der Leukozyten in der Zählkammer mit Differenzierung der einzelnen Zellarten. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 58, S. 1451.
15. O. L. E. de Raadt. Romanowsky-Färbung von Blutausstrichpräparaten mittelst der Farblösung von Jenner. Münchener mediz. Wochenschr.. Jahrg. 58, S. 1453.
16. J. Loeber, Zur Physiologie der Blutplättchen. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 140, S. 281.
17. T. Brugsch und A. Schittenhelm, Lehrbuch klinischer Untersuchungsmethoden. 2. Aufl., S. 513. Verlag von Urban und Schwarzenberg, Berlin-Wien.
18. J. H. Wright and R. Kinnicutt, A new method of counting the bloodplatelets for clinical purposes and some of the results obtained with it. The journal of the americ. medic. association, Bd. 56, S. 1457.
300) 19. H. Schridde, Blutbereitende Organe. Aschoffs Lehrb. der pathol. Anatomie, 2. Aufl., Bd. 2., S. 104.
20. O. Naegeli, Das Blut. Aschoffs Lehrb. der pathol. Anatomie, 2. Aufl., Bd. 2, S. 152.

1912.

1. O. Naegeli, Blutkrankheiten und Blutdiagnostik. 2. Aufl. Verlag von Veit und Komp., Leipzig.
2. W. Türk, Vorlesungen über klinische Hämatologie. Teil 2, Hälfte 1: Ergänzungen zum ersten Teile. Physiologie und Pathologie der Blutbildung. Biologie und Funktionen der Zellen des Blutes. Leukozytäre Reaktionen und Entzündungslehre. Das Blutbild unter physiologischen Verhältnissen. Verlag von W. Braumüller, Wien und Leipzig. (Forts. von Lit.-Verzeichnis 1904, 1.)
3. C. Klieneberger und W. Carl, Die Blut-Morphologie der Laboratoriums-Tiere. Verlag von J. A. Barth, Leipzig.
305) 4. K. Bürker, Über Prüfung und Eichung des Sahlischen Hämometers und über Verbesserungen der Methode der Erythrozytenzählung und Hämoglobinbestimmung. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 59, S. 14.
5. W. Roerdansz, Neue Blutmischpipette sowie Kritik über die Methode der Blutmischung behufs Vornahme der Blutkörperchenzählung. Pflügers Archiv für die gesamte Physiol., Bd. 145, S. 261.
6. S. Adachi, Zur Frage der Blutveränderung bei Schwangeren und Gebärenden. Hegars Beiträge zur Geburtshilfe und Gynäkol., Bd. 17, S. 174.
7. P. v. Grützner, Zwei einfache Apparate zur Untersuchung des Blutes. B. Ein Blutkörperchenzählapparat ohne Zählnetz. Münchener mediz. Wochenschr., Jahrg. 59, S. 755.
8. Tojbin, Der „Cytax“ — die erste Zähl- und Rechenmaschine im Dienste der Medizin. Ein Apparat zur Zählung und automatischen Berechnung von Blutkörperchen und anderen Zellen. Medizinische Klinik, Wochenschr. für prakt. Ärzte, Jahrg. 8, S. 442.
310) 9. v. Domarus, Taschenbuch der klinischen Hämatologie. Mit einem Beitrag von H. Rieder, Röntgenbehandlung bei Erkrankungen des Blutes und der blutbereitenden Organe. Verlag von G. Thieme, Leipzig.
10. V. Schilling, Das Blutbild und seine klinische Verwertung. Verlag von G. Fischer, Jena.
11. F. Bloch, Beiträge zur Methodik der Blutuntersuchung. Prager mediz. Wochenschr., Jahrg. 37, Nr. 26. Separatabdruck.
12. K. Bürker, Blut. Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. 2, S. 51. Verlag von G. Fischer, Jena.
13. W. Türk, Vorlesungen über klinische Hämatologie, Teil 2, Hälfte 2: Klinik der Anämien. Erythrozytosen und Erythrämie (Die Polyzythämien). Verlag von W. Braumüller, Leipzig und Wien. (Forts. von Lit.-Verzeichnis 1912, 2.)
315) 14. R. Paltauf, E. Freund und C. Sternberg, Die Pathologie des Blutes. Krehls und Marchands Handb. der allgem. Pathol., Bd. 2, Abteil. 1, S. 1.
15. A. v. Bonsdorff, Kjer-Petersens inhomogenitetslära och nog grannheten af

metoden att räkna antalet hvita blodkroppar. Finska läkaresällskapets handlingar. Bd. 14, S. 701. Separatabdruck.
16. A. v. Bonsdorff, Antalet hvita blodkroppar hos friska fullvuxua män och kvinnor. Finska läkaresällskapets handlingar, Bd. 14, Nr. 7, S. 1. Separatabdruc k
17. E. Petry, Zur Chemie der Zellgranula. Die Zusammensetzung der eosinophilen Granula des Pferdeknochenmarks. Biochem. Zeitschr., Bd. 38, S. 92.
18. S. Szecsi, Über einige moderne Romanowsky-Blutfärbungen. Deutsche mediz. Wochenschr., Jahrg. 38, S. 1082.
320) 19. M. Gelbart, Über die von Dunger angegebene neue Zählungsmethode der eosinophilen Zellen und über das Verhalten dieser Zellen bei verschiedenen Krankheiten. Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte, Jahrg. 42, S. 1097.

Druck von August Pries in Leipzig.

Handbuch
der
physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung
von

L. Asher, Bern; **A. Bethe**, Kiel; **Chr. Bohr**, Kopenhagen; **K. Bürker**, Tübingen; **W. Caspari**, Berlin; **J. R. Ewald**, Strassburg; **O. Fischer**, Leipzig; **O. Frank**, München; **M. von Frey**, Würzburg; **S. Garten**, Giessen; **A. Gullstrand**, Upsala; **F. B. Hofmann**, Prag; **R. Magnus**, Utrecht; **L. Michaëlis**, Berlin; **W. Nagel**, Rostock; **C. Oppenheimer**, Berlin; **I. P. Pawlow**, St. Petersburg; **J. Poirot**, Helsingfors; **A. Pütter**, Bonn; **M. Rubner**, Berlin; **K. Schäfer**, Berlin; **F. Schenck**, Marburg; **J. Steiner**, Köln; **W. Trendelenburg**, Innsbruck; **W. Wirth**, Leipzig; **N. Zuntz**, Berlin und **H. Zwaardemaker**, Utrecht

herausgegeben
von

Robert Tigerstedt

Zweiter Band

Abteilung 5

Blut und Blutbewegung III

Mit 3 farbigen Tafeln und 75 Textfiguren

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1912

Diese Abteilung enthält am Schluß Titelbogen und Inhaltsverzeichnis zum
2. Bande zweite Hälfte

